

1689200



**UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA**  
**INSTITUTO SUPERIOR DE ECONOMIA E GESTÃO**

**MESTRADO EM: Economia**

**Mercado Ibérico de Electricidade: Os efeitos competitivos das restrições de capacidade de transporte entre Portugal e Espanha**

**JOÃO MIGUEL SANTOS LOPES**

**Orientação:       Doutor Vítor Manuel da Silva Santos**

**Júri:**

**Presidente:       Doutor Vítor Manuel da Silva Santos**

**Vogais:           Doutora Maria Isabel Vieira Nicolau**

**Doutor José Manuel Zorro Mendes**

**Outubro / 2003**



## **Glossário de Termos e Abreviaturas**

CEER – Council of European Energy Regulators

ETSO – European transmission system operators

FERC – Federal Energy Regulatory Commission

PJM Interconnection – Pennsylvania, New Jersey, Maryland Interconnection

UCTE – Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity



# MERCADO IBÉRICO DE ELECTRICIDADE – EFEITOS COMPETITIVOS DAS RESTRIÇÕES DE CAPACIDADE DE TRANSPORTE ENTRE PORTUGAL E ESPANHA

João Miguel Santos Lopes

Mestrado em: Economia

Orientador: Professor Doutor Vítor Santos

Provas concluídas em:

## RESUMO

O MIBEL – Mercado Ibérico de Electricidade corresponde à integração dos mercados eléctricos de Portugal e Espanha, embora sujeita à restrição imposta pela capacidade limitada de transporte de electricidade entre as duas regiões ibéricas. Em 2002, a quota de produção que podia transitar entre regiões correspondia a cerca de 11% da procura máxima em Portugal e a cerca de 2% da procura máxima em Espanha.

Qual o impacte competitivo provocado por esta limitação face à estrutura horizontal de mercado presente em cada região ibérica foi o tema do presente trabalho. Para tal foi desenvolvido um modelo de Variações conjecturais, parametrizado às condições específicas do MIBEL. Considerou-se que a gestão da interligação entre as duas regiões seria realizada a partir de um método de market splitting semelhante ao aplicado no Nordpool.

Os resultados da análise realizada demonstram que as restrições de capacidade de transporte são susceptíveis de produzir efeitos competitivos importantes embora interferindo de forma diferenciada com a estrutura horizontal de mercado presente em cada região. Por um lado, os limites de capacidade de transporte limitam a entrada da firma dominante portuguesa no mercado espanhol. Por outro lado, definem que o mercado doméstico português se encontra relativamente protegido de competidores externos. No arranque do MIBEL, os limites de interligação jogarão um papel importante na selecção da estratégia competitiva da firma dominante portuguesa .

Palavras Chave: modelo de Variações Conjecturais, estrutura de mercado, estratégia da firma, desempenho do mercado, teoria de jogos, regulação pública.

# IBERIAN ELECTRICITY MARKET – COMPETITIVE EFFECTS OF TRANSMISSION LIMITS BETWEEN PORTUGAL AND SPAIN

João Miguel Santos Lopes

Mestrado em: Economia

Orientador: Professor Doutor Vítor Santos

Provas concluídas em:

## **ABSTRACT**

MIBEL, the Iberian market of electricity joins the electricity markets of Portugal and Spain, although transmission limits between the two regions have to be taken in account. In 2002, the maximum power flow allowed through interconnections was 11% of Portugal peak demand and less than 2 % of Spain peak demand.

The study of the possible competitive effects of transmission limits was the main purpose of this work. A Conjectural variation model was developed under the assumption that congestion would be managed with a market splitting method as in Nordpool. Results of the analysis showed important competitive effects although different between regions. The present transmission limits, on one hand, raise obstacles for the dominant firm in Portugal to enter in the Spanish market; on the other hand, these limits protect the Portuguese domestic market from foreign competition. In this framework, transmission limits will have an important role in determining the optimal competitive strategy for the Portuguese dominant firm.

Key words: Conjectural Variations Model, Market structure, Firm Strategy, Market performance, regulation and industrial policy, Game Theory, Mixed Complementary Problems.



# ÍNDICE

<b>RESUMO .....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>8</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<i>Desenvolvimento do trabalho.....</i>	<i>16</i>
<b>2. PRINCÍPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA ELÉCTRICO .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1. Actividades básicas ligadas ao fornecimento de energia eléctrica .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2. Princípios de funcionamento de um sistema eléctrico.....</b>	<b>19</b>
<i>2.2.1. Conceitos aplicados na gestão de redes eléctricas .....</i>	<i>23</i>
O despacho da produção.....	24
Serviços de Sistema.....	28
Restrições de capacidade de transporte.....	30
Congestionamentos.....	31
Métodos de resolução de congestionamentos.....	33
<b>3. ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO DOS MERCADOS ELÉCTRICOS.....</b>	<b>36</b>
<b>3.1. O desenho de mercado das actividades grossistas .....</b>	<b>38</b>
<i>3.1.1. O mercado do dia seguinte.....</i>	<i>40</i>
Modo de organização do leilão.....	40
Bolsa vs. Pool.....	41
Preço uniforme vs. preço discriminado (pay-as-bid).....	41
<i>3.1.2. Mercados de serviços de sistema.....</i>	<i>43</i>
<i>3.1.3. Mercados de derivados.....</i>	<i>45</i>
<i>3.1.4 Mercados estandarizados de contratos bilaterais físicos .....</i>	<i>47</i>
<b>3.2. POOLs de Energia .....</b>	<b>49</b>
<i>3.2.1. Formato de licitação numa pool .....</i>	<i>52</i>
<i>3.2.2. Modelos de Pool.....</i>	<i>54</i>
POOL - Nodal prices .....	55
POOL – Market-Splitting .....	63
Pool - Redespacho / Counter - Trading.....	69
<b>3.3. Bolsa de Energia.....</b>	<b>72</b>
<b>3.4. Conclusões.....</b>	<b>74</b>
Métodos de resolução de congestionamentos.....	76
Desenho de mercado e estrutura horizontal de mercado.....	78
<b>4. COMPETIÇÃO NOS MERCADOS ELÉCTRICOS .....</b>	<b>80</b>
<b>4.1. O exercício do poder de mercado nos mercados eléctricos.....</b>	<b>81</b>
Estrutura horizontal de mercado .....	81
Comportamento da procura .....	84
Não armanezabilidade da electricidade .....	87
Restrições de capacidade de transporte.....	87
<b>4.2. A análise de poder de mercado num mercado eléctrico.....</b>	<b>87</b>
O modelo de leilão multi-unidades.....	88
Modelo funções de oferta .....	90
Modelo de Cournot.....	93
Modelo de Stackelberg .....	94
Modelos de variações conjecturais .....	95
Comportamento colusivo.....	98
<b>4.3. Os efeitos competitivos das restrições de capacidade de transporte .....</b>	<b>99</b>
Duopólio partilha uma linha para aceder ao mercado.....	100
Dois mercados em regime de monopólio integrados por uma linha com capacidade limitada.....	104
Extensão ao caso de uma rede com três nós e três linhas – a introdução do fluxo paralelo.....	118
<b>4.4. O estudo dos efeitos competitivos dos direitos de capacidade de transporte .....</b>	<b>120</b>
<b>4.5. Simulação de Mercados Eléctricos .....</b>	<b>123</b>

4.6. Mitigação de Poder de Mercado .....	127
4.7. Conclusões.....	130
<b>5. MIBEL – EFEITOS COMPETITIVOS DAS RESTRIÇÕES DE CAPACIDADE DE TRANSPORTE ENTRE PORTUGAL E ESPANHA.....</b>	<b>131</b>
5.1. O MIBEL .....	131
5.2. Discussão do modelo de mercado do MIBEL .....	134
5.3. Estudo do comportamento competitivo do MIBEL .....	137
5.4. O modelo de simulação do MIBEL.....	142
Comportamento da procura .....	143
Capacidade de interligação e Desenho de Mercado.....	144
Tecnologias e custos de produção .....	146
Produção em regime especial .....	148
Produção hidráulica .....	149
Comportamento das firmas produtoras.....	150
Condições de equilíbrio do problema .....	155
5.5. Análise de resultados.....	159
Análise das condições de assimetria de mercados .....	159
Equilíbrio conjunto descongestionado .....	161
Comportamento competitivo passivo no mercado de preço alto em regime de autarcia .....	166
Discussão das condições de existência de equilíbrio de Nash no cenário base de interligação .....	168
Análise de sensibilidade do comportamento das firmas a diferentes cenários de interligação .....	176
Extensões à análise efectuada.....	182
5.6. Conclusões.....	183
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>189</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>194</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>202</b>
Formalização matemática de uma rede.....	202
Equilíbrio de potência.....	203
Equações de Fluxos de Potência.....	203
Limites de capacidades das linhas .....	204
Exemplo teórico de uma rede com três nós e três linhas de admitância idêntica.....	205
<b>ANEXO 2 .....</b>	<b>211</b>
Código GAMS.....	211

## LISTA DE QUADROS

Tabela 3.1 Vantagens e desvantagens dos mercados estandardizados de contratos bilaterais físicos.....	48
Tabela 3.2 Horizontes temporais para a decisão em mercados eléctricos .....	49
Tabela 5.1 Valores de referência para as funções de procura inversa a utilizar no modelo .....	144
Tabela 5.2 Cenário base para a capacidade de interligação entre Portugal e Espanha.....	145
Tabela 5.3 Produção em Regime ordinário - Capacidade teórica instalada em Portugal em MW, 2002 .....	147
Tabela 5.4 Produção em Regime ordinário - Capacidade de produção teórica instalada em Espanha em MW, 2002 .....	147
Tabela 5.5 Custos marginais utilizados no modelo .....	148
Tabela 5.6 Valores assumidos para a Produção em regime especial que participa no mercado grossista MWh ..	149
Tabela 5.7 Desempenho de mercado em contexto de autarcia.....	161
Tabela 5.8 Cenário de procura alta - Nível de capacidade de interligação que fornece o suporte a um equilíbrio conjunto descongestionado no MIBEL .....	163
Tabela 5.9 Cenário de procura intermédia - Nível de capacidade de interligação que fornece o suporte a um equilíbrio conjunto descongestionado no MIBEL.....	164
Tabela 5.10 Cenário de procura baixa - Nível de capacidade de interligação que fornece o suporte a um equilíbrio conjunto descongestionado no MIBEL .....	164
Tabela 5.11 Cenário procura alta – MIBEL market splitting com 850 MW .....	168
Tabela 5.12 Cenário procura intermédia – MIBEL market splitting com 700 MW .....	168
Tabela 5.13 Cenário procura baixa – MIBEL market splitting com 550 MW .....	168
Tabela 5.14 Equilíbrio de Nash para os diferentes cenário estudados.....	169
Tabela 5.15 Cenário de Procura alta e rivalidade competitiva $\theta=-0.98$ .....	172
Tabela 5.16 Cenário de Procura alta e rivalidade competitiva $\theta=-0.97$ .....	172
Tabela 5.17 Cenário de Procura alta e rivalidade competitiva $\theta=-0.96$ .....	173
Tabela 5.18 Cenário de Procura intermédia e rivalidade competitiva $\theta=-0.98$ .....	173
Tabela 5.19 Cenário de Procura intermédia e rivalidade competitiva $\theta=-0.97$ .....	174
Tabela 5.20 Cenário de Procura intermédia e rivalidade competitiva $\theta=-0.96$ .....	174
Tabela 5.21 Cenário de Procura baixa e rivalidade competitiva $\theta=-0.98$ .....	175
Tabela 5.22 Cenário de Procura baixa e rivalidade competitiva $\theta=-0.97$ .....	175
Tabela 5.23 Cenário de Procura baixa e rivalidade competitiva $\theta=-0.96$ .....	176
Tabela 5.24 Cenário de procura alta – Análise de sensibilidade dos resultados a cenários alternativos de capacidade de interligação .....	180
Tabela 5.25 Cenário de procura intermédia – Análise de sensibilidade dos resultados a cenários alternativos de capacidade de interligação .....	181
Tabela 5.26 Cenário de procura baixa – Análise de sensibilidade dos resultados a cenários alternativos de capacidade de interligação .....	182

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Curvas de custos médios das centrais térmicas entre 1930 e 1990 .....	11
Figura 2.1 Fluxo paralelo de potência .....	22
Figura 2.2 esquema de uma rede de transporte e distribuição .....	23
Figura 2.3 Produção programada, carga real e carga prevista no sistema eléctrico de Espanha no dia 28 de Outubro de 2003 .....	26
Figura 2.4 Custo total de produção por tipo de central em função da taxa de utilização .....	27
Figura 2.5 Fluxos de potência numa transacção de 1000 MW entre França e Itália .....	35
Figura 3.1 – Exemplo das ofertas de potência a descer e potência a subir no Nordpool .....	45
Figura 3.2 Determinação do preço de equilíbrio numa pool .....	52
Figura 3.3 Equilíbrio em cada zona sem transacção entre áreas .....	65
Figura 3.4 Equilíbrio em cada zona com transacções entre zonas .....	66
Figura 3.5 Capacidade de transporte necessária para atingir preços idênticos nas duas zonas .....	67
Figura 4.1 Comportamento óptimo de um monopolista .....	82
Figura 4.2 Exemplo de um sistema eléctrico em que a procura se aproxima da capacidade máxima de produção. ....	86
Figura 4.3 Equilíbrio de Cournot com restrições de capacidade .....	101
Figura 4.4 Curva de procura enfrentada pela firma $n$ quando a firma $s$ produz $q_s$ .....	106
Figura 4.5 Curva de reacção de cada firma para uma linha de capacidade reduzida .....	111
Figura 4.6 Linha com capacidade $K^*$ que permite o equilíbrio standard de Cournot .....	112
Figura 4.7 – Rede de três nós e três linhas .....	118
Figura 4.9 Esquema estudado por Joskow e Tyrole .....	121
Figura 5.1 Método de determinação dos Preços de equilíbrio no mercado diário .....	133
Figura 5.2 Interpretação de um jogo de quantidades numa pool eléctrica .....	143

## **AGRADECIMENTOS**

Um agradecimento especial ao Professor Vítor Santos pela orientação, apoio e confiança demonstrados ao longo deste ano de colaboração conjunta.

À Carla, um muito sentido obrigado.

## 1. INTRODUÇÃO

Historicamente, o fornecimento de electricidade ficou cometido a um número reduzido de empresas, na forma de concessão da actividade a empresas privadas ou na forma de empresas de capitais públicos. Era comum estas empresas deterem simultaneamente as centrais eléctricas e as redes de transporte e distribuição, configurando situações de monopólios nacionais ou regionais. Sob o regime de monopólio público ou de empresas privadas supervisionadas por agências públicas, a regulação do sector teve por preocupação garantir condições de eficiência económica, de qualidade e segurança no fornecimento e de equidade no seu acesso. Na prática, o modelo de regulação adoptado utilizou a fixação tarifária e a imposição de requisitos mínimos de qualidade e segurança no fornecimento de electricidade como principais instrumentos de regulação.

Entre os modelos de fixação tarifária teoricamente estudados – preços de Ramsey (1927) ou as propostas de Loeb-Magat (1969), aquele que possuiu maior validade prática consistiu na determinação de tarifas tendo por fundamento o respectivo impacto nos resultados económicos das empresas, modelo designado usualmente como regulação da taxa de remuneração. Basicamente, neste modelo procurar-se-ia emular as condições de um mercado competitivo, traduzidas em lucros económicos nulos por parte das empresas reguladas. As tarifas fixadas deveriam gerar um rendimento que permitisse remunerar os factores de produção utilizados no processo produtivo a taxas competitivas, aproximando os preços dos custos marginais.

O modelo de regulação do monopólio caracterizava-se também pelo planeamento central da capacidade de produção. As preocupações com a qualidade e segurança do fornecimento, assumidas pela regulação, impunham a necessidade de um planeamento apertado, imposto às empresas reguladas. Este planeamento respondia tanto às características da procura no curto prazo como à sua evolução no médio e longo prazo.

O modelo de planeamento central e de regulação pela taxa de rentabilidade permitida foi contudo incapaz de gerar incentivos às empresas monopolistas para se tornarem mais eficientes. As fontes de ineficiência são variadas. Conforme analisado por Averch-Johnson (1962), o regime de regulação da taxa de rentabilidade continha em si incentivos perversos. Sendo a taxa de rentabilidade fixada exogenamente, os incumbentes, no sentido de

aumentarem os lucros, têm incentivos em aumentar a base de capital sobre a qual é aplicada essa taxa. Potencialmente, deriva-se daqui um efeito de sobreinvestimento, com efeitos penalizadores na eficiência económica. Prevenindo este tipo de comportamento as autoridades de regulação tenderam a escrutinar a base de capital, questionando a pertinência da inclusão de investimentos tidos como inefficientes. Contudo ficava ainda por estabelecer uma base segura para como determinar a taxa de rentabilidade permitida, matéria que mereceu discussão ao longo do tempo, existindo diferentes abordagens para o respectivo cálculo. Outra fonte de ineficiência prende-se com os fenómenos de captura do regulador, analisados por Stigler (1962): na medida que os lucros das empresas são determinados exogenamente pela actuação dos reguladores, estas têm incentivos em condicionar essa actuação, nomeadamente através de actividades de *lobbying*, sobretudo quando a independência orgânica, funcional e financeira dos reguladores não é estatutariamente assegurada. Por último, o planeamento central nem sempre se orientou por critérios de eficiência económica. Reflectiram-se sobre esta actividade preocupações de natureza social e de independência doméstica energética, fundamentando a realização de investimentos pesados e de menor eficiência económica. A protecção e subvenção de actividades mineiras carboníferas é disso exemplo.

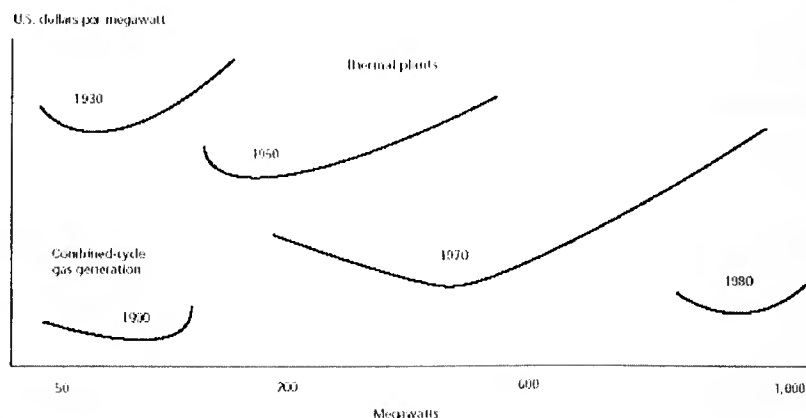
Argumentos de natureza económica e técnica fazem crer que mercados competitivos apresentem um melhor desempenho que o modelo de regulação em regime de monopólio e de planeamento centralizado.

Em primeiro lugar, o instrumental de regulação aplicado aos monopólios foi incapaz de induzir um comportamento eficiente aos incumbentes instalados. O mesmo se verificou no contexto de monopólios públicos, onde a suposta “auto-regulação” se demonstrou insuficiente do ponto de vista da promoção da eficiência económica.

Em segundo lugar, se nas actividades de transporte e distribuição de energia se reconhecem elevadas economias de escala, aproximando-nos claramente do modelo de monopólio natural, já na produção de energia as economias de escala são menos significativas. Inovações tecnológicas recentes na produção – as centrais de ciclo combinado, permitem centrais mais eficientes em menor escala, com menores custos de investimento e períodos de construção significativamente encurtados. A entrada na produção de novas empresas é dessa forma facilitada, tornando os mercados eléctricos fortemente contestáveis.

A combinação entre custos fixos de produção e custos marginais para os diferentes tipos de centrais térmicas é descrita na figura 1.1, explicitando a evolução das curvas de custos médios de acordo com as inovações tecnológicas na produção ao longo do século XX.

**Figura 1.1 Curvas de custos médios das centrais térmicas entre 1930 e 1990**



Fonte: Hunt e Shuttleworth, 1996

No contexto de um mercado concorrencial e sem restrições técnicas e económicas à entrada de novos competidores é possível por isso argumentar comportamentos competitivos e geradores de eficiência, com reflexos positivos nos preços praticados junto de consumidores domésticos e empresariais. Sendo credível a ameaça de entrada, os preços de produção deverão reflectir os custos marginais de longo prazo, de acordo com as tecnologias mais eficientes.

Os movimentos de liberalização do sector eléctrico, um pouco por todo o mundo, trazem consigo novos paradigmas de funcionamento e regulação do sector eléctrico. De um modelo de monopólio regulado e de planeamento centralizado, realizando internamente e de forma reservada um conjunto de actividades essenciais à gestão e planeamento do sistema, evolui-se para mercados concorrenciais, separando as actividades de produção, transporte, distribuição e comercialização e utilizando mecanismos de mercado para o seu funcionamento e planeamento, que passa a ser realizado de forma descentralizada.

Na Europa, a Comissão Europeia, através da directiva 96/92/CE, posteriormente aprofundada na directiva 2003/53/EC, propôs a liberalização dos mercados domésticos de electricidade num processo faseado. Este processo contempla diversas etapas:



- Separação das actividades de produção, transporte, distribuição e comercialização dos incumbentes ou desintegração destes em várias empresas segundo essas actividades.
- Definição do acesso livre e não discriminado às redes de energia por forma a permitir a livre entrada na produção e livre escolha do fornecedor.
- Liberalização completa da produção (obrigatória a partir de Fevereiro de 1999), admitindo a livre entrada de novos produtores sob o regime de autorização administrativa ou sob o regime de concurso público.
- Liberalização das trocas de energia, permitindo aos consumidores, de forma gradual, a liberdade de escolha dos respectivos fornecedores.

A passagem de um regime de monopólio para um regime de mercado concorrencial tem associado um período de transição, que tem por fundamento o pagamento dos designados *stranded costs*. Estes custos derivam de medidas de gestão e planeamento definidas no regime anterior de planeamento centralizado e que dificilmente seriam recuperados no contexto de um mercado competitivo. Estes custos têm duas origens principais. Por um lado, derivam de investimentos impostos no passado às empresas, justificados em preocupações sociais e ambientais, que dificilmente serão mitigados em condições de mercados competitivos. Por outro lado, relacionam-se com contratos de muito longa duração de fornecimento de fontes primárias de energia ou de fornecimento de electricidade, neste caso firmados entre as redes eléctricas e os produtores, que teriam de ser resolvidos, como condição necessária para o estabelecimento de mercados concorrenciais. No processo de transição estes custos são pagos por todos os consumidores durante um período predeterminado nas fases preparatórias dos processos de liberalização.

A liberalização introduz deste modo alterações no modelo de regulação das actividades no sector eléctrico. O transporte e a distribuição, dadas as elevadas economias de escala associadas às redes, permanecem supervisionadas pela regulação, em moldes semelhantes à prática regulatória anterior aplicada aos monopólios estabelecidos. A produção e comercialização são desreguladas, admitindo-se a livre concorrência entre empresas, embora sob vigilância da regulação.

Na Europa, a criação do mercado interno de electricidade constitui provavelmente o principal instrumento de liberalização dos mercados eléctricos. A criação de um mercado integrado tem as seguintes vantagens (Newbery, 2002): alarga a disponibilidade de fontes primárias diminuindo a exposição a choques numa ou noutra fonte; reduz os custos de gestão dos sistemas; permite perfis de carga dos sistemas mais estáveis; alarga a concorrência entre produtores energéticos à escala europeia, expondo os incumbentes originais, com o mercado doméstico anteriormente protegido, à concorrência num mercado alargado. Basicamente, num contexto de mercado alargado, o fornecimento de energia eléctrica num dado território fica menos dependente dos produtores aí instalados, limitando a possibilidade destes exercerem abuso de posição dominante. Contudo, tradicionalmente, a capacidade de transporte entre sistemas domésticos foi dimensionada apenas para satisfazer requisitos de segurança no fornecimento de electricidade para períodos de procura de ponta, não admitindo trocas comerciais de energia significativas. Os mercados eléctricos, a nível europeu, estão por isso fragmentados, exigindo-se elevados níveis de investimento em interligação para tornar viáveis elevados níveis de comercialização entre países.

Teoricamente, mercados grossistas e retalhistas competitivos imporiam condições para um comportamento favorável à eficiência, condutor da redução de custos e dos preços finais. Contudo, como ilustram algumas das experiências de liberalização, os resultados obtidos afastaram-se significativamente daqueles que à partida seriam expectáveis.

O caso inglês é exemplificativo da forma como poder de mercado diminuiu o impacto da liberalização na redução dos preços. O caso espanhol apresenta fortes semelhanças ao inglês. Nestes casos, a desintegração dos monopólios estabelecidos do lado da produção foi feita num número reduzido de empresas de dimensão considerável, decorrente de uma estratégia dos estados nacionais de proteger as recém criadas empresas. Criando empresas de dimensão elevada limitar-se-ia, desse modo, a tentação de *take overs* hostis por parte de empresas estrangeiras. Como resultado, os níveis de concentração na produção permaneceram em níveis elevados, oferecendo larga margem para práticas de dominância simples e colectiva, num contexto em que os mercados domésticos permaneciam protegidos pela insuficiente capacidade de transporte de energia transfronteiriça.

Na Califórnia, provavelmente o caso mais conhecido, deficiências no desenho de mercado e uma intervenção regulatória desadequada, conjugados com uma conjuntura desfavorável do lado das fontes primárias de energia (diminuição das reservas hidráulicas e encarecimento do gás natural), insuficiência regional de capacidade de produção e restrições ao nível da interligação com outros sistemas tiveram resultados catastróficos: instabilidade e cortes no fornecimento de energia; volatilidade muito elevada dos preços nos mercados *spot*; falência das principais empresas de distribuição. O episódio da Califórnia trouxe preocupações relativamente à eficácia e bondade do processo de desregulação colocando em causa os méritos teoricamente expectáveis da definição de mercados eléctricos competitivos.

Os mercados de energia eléctrica afastam-se significativamente dos paradigmas evidentes noutros mercados. Borenstein e Bushnell (1999) identificam um conjunto de aspectos que tornam os mercados eléctricos mais expostos à ocorrência de situações de abuso de poder de mercado. Em primeiro lugar, ao invés das *commodities* tradicionais, a electricidade não é armazenável, impossibilitando a constituição de reservas que possibilitem a absorção de choques momentâneos na oferta ou procura. Em segundo lugar, em tempo real, é necessário assegurar o ajustamento perfeito entre produção e consumo, o que implica sempre a necessidade de recorrer a produtores. Sendo a capacidade de produção limitada, em períodos de pico não basta recorrer aos produtores que apresentam preços mais baixos; determinados produtores poderão observar a sua imprescindibilidade para satisfazer a procura residual e actuar estrategicamente em função dessa situação. Quanto maior for a concentração horizontal maior a probabilidade de observar este tipo de situações. O paradigma de concorrência nos mercados eléctricos afasta-se, por isso, do modelo de concorrência de Bertrand - o produtor com preço mais baixo absorve a totalidade do mercado. Em terceiro lugar, a procura de curto prazo é fortemente inelástica, factor que propicia a ocorrência de comportamentos estratégicos mesmo em mercados relativamente pouco concentrados. A supervisão dos mercados suportada em indicadores de concentração, como o HHI ou o  $C_k$ , pode assim ser ilusiva dadas as especificidades dos mercados eléctricos.

A regulação dos mercados concorrenciais estabelecidos começa a dar os primeiros passos e desenham-se as soluções possíveis para mitigar poder de mercado. Evoluiu-se da natural

impreparação inicial das agências de regulação, suportada na experiência entretanto adquirida e também nos numerosos estudos académicos produzidos em diferentes contextos nacionais.

Newbery (2002) analisa o conjunto de condições que devem estar presentes para a ocorrência de mercados eléctricos competitivos, enunciando, a propósito, os requisitos prévios para a desregulação propostos pela Lei de 1935 nos EUA que cria a Federal Energy Regulatory Commission. Estes requisitos estabelecem que só será possível permitir um mercado grossista de electricidade se e só se: não existe ou foi mitigado o poder de mercado na produção e transporte; não existem barreiras à entrada; quando se encontrarem reunidas as condições para existência de um mercado competitivo; se existirem sinais de abuso de poder de mercado existe direito de regresso ao contexto de regulação dos preços. Em face destes requisitos e da experiência de regulação inglesa da pool de Inglaterra e Gales, este autor enuncia como condições necessárias para a ocorrência de um mercado eléctrico competitivo, as seguintes:

- 1) Existência de capacidade de reserva de produção de energia para corresponder aos períodos de ponta; este objectivo prende-se com a necessidade de prevenir comportamentos estratégicos dos maiores produtores nestes períodos;
- 2) Acesso à rede de transporte: separação dos monopólios verticalmente integrados, tornando independente a gestão das redes; elevada capacidade interligação entre sistemas por forma a permitir um elevado grau de abertura do mercado doméstico; evitar que os incumbentes controlem a capacidade de importação;
- 3) Número suficiente de produtores independentes e capacidade de transporte suficiente; limites de capacidade de transporte fragmentam os mercados relevantes em regiões;
- 4) Mercados de derivados financeiros de produtos eléctricos desenvolvidos e líquidos para compensar a volatilidade dos mercados *spot*; quanto maior a proporção de electricidade transaccionada através destes mercados menor será a tentação de manipular os preços nos mercados de curto prazo. Naturalmente, para estes mercados funcionarem, os produtores terão que vender contratos forward e futuros em quantidade suficiente.

Na experiência dos mercados eléctricos concorrenciais outro aspecto crítico prende-se com o investimento em novos equipamentos produtivos e nas redes de transporte. Existem receios que mercados competitivos não ofereçam incentivos suficientes para o ritmo de investimento

acompanhar o ritmo de crescimento da procura, colocando no futuro problemas de segurança de abastecimento – no fundo, os mecanismos de mercado ainda não foram suficientemente testados no longo prazo. Com efeito, em mercados competitivos os agentes económicos vêem as suas taxas de rentabilidade afectadas e têm menor certeza quanto às taxas de utilização dos futuros equipamentos produtivos. Neste contexto, o maior risco de projecto, também reflectido na respectiva taxa de financiamento, poderá potencialmente prejudicar a propensão a investir. Contribuiu também para esta situação o desenho de mercado inicialmente adoptado nas primeiras experiências de liberalização – a pool obrigatória. Pouco adaptada à contratação de longo prazo, a pool obrigatória oferecia um contexto pouco favorável à busca da eficiência de longo prazo. Os agentes económicos preferem salvaguardar os seus investimentos contratando a prazos longos.

Os movimentos de liberalização do sector eléctrico cruzam-se ainda com as preocupações ambientais. A produção de electricidade é responsável por uma parte significativa das emissões gasosas de CO<sub>2</sub>. A aplicação do protocolo de Quioto e das directivas europeias sobre fontes renováveis de produção impõem directrizes para o desenvolvimento do sector que nos afastam parcialmente das condições de eficiência custo face às tecnologias actualmente disponíveis – a produção a partir de fontes renováveis é relativamente mais cara. O mercado de emissões introduz potencialmente outro tipo de distorções na selecção dos novos equipamentos produtivos, na medida que favorece os investimentos em tecnologia nuclear. No entanto, apesar de não produzir emissões gasosas esta tecnologia tem custos ambientais claramente superiores aos da tecnologias mais eficientes a gás natural.

Em síntese, crescimento da procura, eficiência de longo prazo, sustentabilidade ambiental e poder de mercado são questões que se colocam com grande acuidade em mercados eléctricos liberalizados. São questões que exigem a intervenção pública e para a qual as autoridades reguladoras devem estar convenientemente apetrechadas, com capacidade de vigilância e instrumentos de intervenção adequados.

### ***Desenvolvimento do trabalho***

O tema da presente tese insere-se no quadro da criação do MIBEL – Mercado Ibérico de Electricidade. Entre o vasto leque de matérias susceptíveis de serem estudadas, sucintamente

enunciado nos parágrafos anteriores, escolheu-se como tema da presente tese os efeitos competitivos susceptíveis de serem observados derivados dos limites de capacidade de interligação entre as duas regiões do MIBEL. Esta análise é suportada num modelo de simulação de concorrência oligopolista, seguindo a metodologia usualmente adoptada para o estudo dos mercados eléctricos na literatura económica e de engenharia que se debruça sobre esta matéria.

O desenvolvimento do presente trabalho segue os seguintes passos. Num primeiro momento situam-se os aspectos básicos que estão presentes na gestão de curto prazo de um sistema eléctrico. Num segundo momento ilustram-se as diferentes opções quanto ao desenho de mercado, seja em mercados nacionais assentes numa única rede de transporte, seja no contexto de mercados transnacionais, com mais do que uma rede de transporte – que tem inerente a gestão da capacidade limitada de interligação.

O capítulo teórico – Competição nos Mercados Eléctricos, analisa como estrutura horizontal de mercado, comportamento da procura e limites de capacidade de transporte interferem no desempenho competitivo de mercados eléctricos. Ainda neste capítulo, enunciam-se brevemente as principais estratégias de mitigação de poder de mercado postas em prática pelas agências de regulação.

O capítulo cinco é aquele em que se desenvolve o tema da tese enunciando-se o modelo de concorrência oligopolística a estudar e expondo-se os seus principais resultados. Por fim, o capítulo final enuncia as principais conclusões assinaladas no presente estudo.

## **2. PRINCÍPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA ELÉCTRICO**

O fornecimento de electricidade é uma actividade complexa com características particulares. Estas características incluem a variabilidade temporal e estocástica da procura e da produção, acentuada pela não viabilidade económica do armazenamento de energia; múltiplas tecnologias com sensibilidades variáveis aos custos de capital e aos custos das fontes primárias de energia; restrições ambientais e de localização das centrais e a dependência de redes seguras e fiáveis (Wilson, 1998). Estas particularidades foram naturalmente incorporadas na arquitectura dos mercados eléctricos atribuindo-lhes notável complexidade ao nível do respectivo desenho regulamentar e do seu funcionamento. Compreender o funcionamento de um mercado eléctrico passa por isso por atender aos princípios subjacentes ao funcionamento de um sistema eléctrico.

O presente capítulo pretende elucidar sucintamente os fundamentos técnicos e económicos em se que baseia o funcionamento de mercados eléctricos. Este organiza-se em torno de duas temáticas. Num primeiro momento situam-se as actividades relacionadas com a produção e o fornecimento de energia eléctrica. O capítulo desenvolve em seguida os princípios básicos de funcionamento de uma rede eléctrica, atribuindo especial atenção à metodologia de programação do despacho económico da produção e aos métodos de resolução de congestionamentos.

### **2.1. Actividades básicas ligadas ao fornecimento de energia eléctrica**

A operação de um sistema eléctrico envolve quatro funções principais interrelacionadas entre si. Estas são:

- A Produção, correspondente à conversão de fontes primárias de energia em energia eléctrica;
- O Transporte, inerente ao transporte de electricidade em alta tensão em distâncias longas;
- A Distribuição, consistindo no transporte de electricidade em média e baixa tensão da rede de transporte aos consumidores;

- A Comercialização, consistindo na venda de electricidade aos consumidores, envolvendo a medição/contagem dos consumos e a sua facturação.

A actividade de produção compreende a construção, manutenção e gestão das centrais de energia. Identificam-se múltiplas tecnologias de produção, combinando custos fixos e variáveis de formas distintas de que resultam diferentes dimensões/escalas de produção óptimas.

A actividade de transporte envolve a construção e manutenção da rede de transporte de alta tensão e a sua operação. A operação da rede de transporte envolve o despacho da produção e a manutenção da tensão e frequência de fornecimento dentro de bandas apertadas. É uma actividade que exhibe elevadas economias de escala, com curvas de custo sub-aditivas. A componente de custos variáveis é relativamente baixa não dependendo significativamente do número de utilizadores.

A distribuição envolve a construção e manutenção da rede de média e baixa tensão. Comparativamente ao transporte, a sua operação é mais simples pois não envolve o despacho da produção. Nessa medida, as economias de escala são menores, sendo possível identificar várias redes de distribuição (não substitutas entre si) num mesmo país/território.

A comercialização de electricidade está associada essencialmente à leitura dos contadores, facturação e recebimento de pagamentos. Para além dos custos associados a estas actividades adicionam-se também os custos associados à gestão de incobráveis. Os custos marginais desta actividade são relativamente baixos.

## **2.2. Princípios de funcionamento de um sistema eléctrico**

A rede eléctrica tem por função transportar a energia eléctrica entre pontos de geração e pontos de consumo, normalmente separados por longas distâncias. As centrais energéticas exibem restrições de localização, determinadas pelas suas características produtivas. A disponibilidade de fontes primárias, no caso das centrais hidroeléctricas, ou a dimensão da actividade poluente, no caso das centrais a fuel, carvão e nucleares, ditam usualmente o afastamento entre a produção energética e as principais áreas de consumo, normalmente, áreas metropolitanas ou localizações industriais de grande dimensão.



As redes eléctricas cumprem duas funções principais. O transporte de energia, em alta tensão, cumprindo as distâncias que separam as centrais eléctricas das principais áreas de consumo, e a distribuição, fazendo chegar, em média e baixa tensão, a energia eléctrica aos consumidores.

O transporte de energia realiza-se em tensões elevadas por forma a compensar as perdas de energia existentes no transporte a longa distância. Transformadores, localizados junto das unidades de geração, elevam a tensão para níveis adequados, injectando a energia em linhas de muito alta tensão (linhas com tensão de 220 kV a 400 kV) ou de alta tensão (60 kV a 150 kV).

A rede de transporte num determinado território nacional é dimensionada, na sua capacidade de transporte, de forma a comportar todo o trânsito de energia resultante da disposição geográfica diferenciada de pontos de produção e das áreas de consumo. Em caso contrário, congestionamentos em determinadas linhas combinados com a ausência de meios de produção localizados podem dar origem a rupturas no abastecimento de energia em determinadas áreas. Os congestionamentos, mesmo que não signifiquem rupturas no abastecimento, são normalmente geradores de custos de oportunidade. Estes traduzem-se no facto de as fontes de energia eléctrica mais baratas não poderem chegar a determinados pontos da rede. Dependendo do mecanismo utilizado para a resolução de congestionamentos, estes reflectem-se normalmente em preços da energia mais elevados em determinados pontos da rede ou em preços médios globais mais elevados.

As redes de distribuição encontram-se ligadas às rede de transporte em subestações de transporte, normalmente localizadas junto de cidades ou áreas de localização industrial. Nestas realiza-se uma primeira descida de tensão, para os níveis utilizados em distribuição e a energia é dividida em linhas secundárias ligadas a subestações de distribuição, por sua vez localizadas junto de áreas de consumo. Estas ligam às redes locais a que estão conectados os consumidores. A rede de distribuição é composta por linhas de média tensão (10 a 50 kV) e baixa tensão (0,23 kV e 0,4 kV).

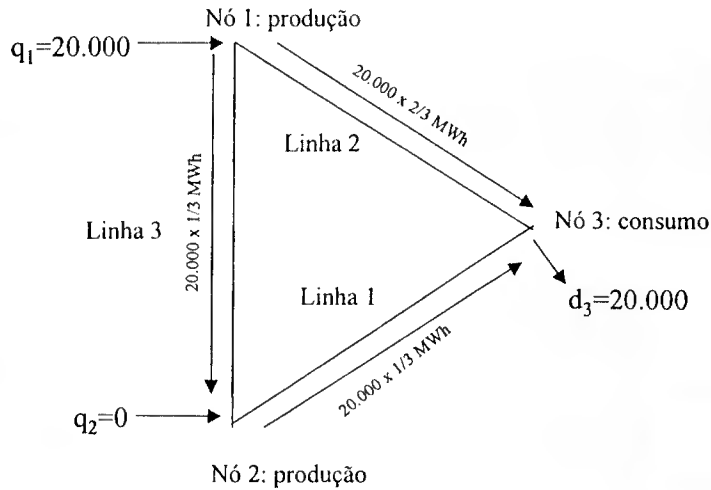
A produção descentralizada, a partir de centrais de pequeno porte baseadas em fontes primárias renováveis, ou a partir de centrais de *peak load*, é normalmente injectada nas redes de distribuição. O crescimento da produção em regime especial, incentivado em termos

públicos, introduz um relevo acrescido às redes de distribuição, determinando que uma parte importante da produção não é despachada pela rede de transporte.

As redes eléctricas podem tomar diversos tipos de arquitectura, aplicadas de acordo com a dimensão e densidade da população que irão servir. Estas podem ser de três tipos: rede radial, rede malhada em anel e rede malhada. A rede radial é a mais simples e mais barata de construir sendo adoptada em zonas de baixa densidade populacional. Este tipo de rede ramifica-se a partir de uma única fonte de alimentação; na medida que não admite redundâncias é susceptível à ruptura de abastecimento no caso de falha da única fonte de alimentação disponível. A rede malhada em anel toma uma forma circular, permitindo que qualquer consumidor seja abastecido por mais do que uma linha e admite mais de que uma fonte de alimentação, fazendo emergir o fenómeno de fluxo paralelo de energia. A rede malhada permite que todos os consumidores sejam alimentados por várias linhas, que são ligadas de forma a constituírem malhas fechadas. Os geradores estão ligados de forma que o trânsito de energia até aos consumidores se pode fazer por vários percursos. Todas as linhas devem estar dimensionadas para transmitirem a potência necessária em caso de avaria de outra linha (designado critério de segurança  $n - 1$ ). Estas redes asseguram uma maior fiabilidade, mas têm um custo mais elevado, usando-se obrigatoriamente para as redes de transporte. (Sucena Paiva, 1999).

O exemplo teórico de um fluxo paralelo de energia numa rede de três nós e três linhas de impedância idêntica é identificado na figura seguinte (ver formulação matemática no Anexo 1), utilizando a aproximação em corrente contínua e ignorando perdas em transporte. Uma injeção de potência no nó 1 é repartida em  $1/3$  pela linha 3 e em  $2/3$  pela linha 2. Embora o fluxo de potência injectado no nó 1 se destine a ser consumido no nó 3 (o percurso contratual), verifica-se que as leis da física impõem um percurso distinto, onde o fluxo paralelo tem lugar. Em redes malhadas este fenómeno está sempre presente. Tem como significado que qualquer injeção de potência em qualquer nó se reparta por toda a rede. Este tipo de fenómeno introduz uma complexidade elevada ao tratamento dos fluxos de potência e relativamente à forma como são definidos, por exemplo, os mercados de capacidade de transporte.

**Figura 2.1 Fluxo paralelo de potência**

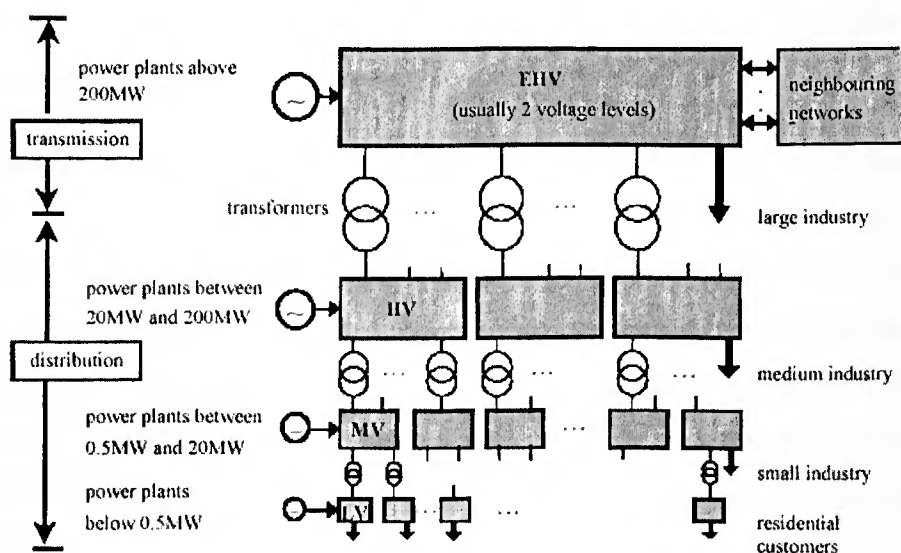


Fonte: Leautier, 1999

No seio de uma rede de transporte nacional, definida de acordo com o princípios da auto-suficiência eléctrica os meios de produção são dimensionados de forma a assegurar as necessidades nela localizadas. A variabilidade estocástica do consumo e da capacidade de produção disponível, em particular em sistemas eléctricos fortemente dependentes de fontes primárias renováveis, pode, em determinadas circunstâncias, perigar a constância do fornecimento. Nessa medida, os sistemas eléctricos nacionais admitem a interconecção com redes de transporte de países vizinhos, por forma a garantir a possibilidade de recorrer a meios de produção externos aos disponíveis na rede de transporte nacional.

O esquema estilizado de uma rede, apresentado na figura 2.2, ilustra os diversos níveis hierárquicos de uma rede eléctrica anteriormente referidos.

**Figura 2.2 esquema de uma rede de transporte e distribuição**



Fonte: Comissão Europeia, DGTREN

### **2.2.1. Conceitos aplicados na gestão de redes eléctricas**

As redes eléctricas europeias utilizam corrente alterna em frequência de 50 Hz (60 Hz na América do Norte), ou seja, a corrente alterna descreve 50 ciclos completos por segundo. É nesta frequência que é injectada corrente eléctrica nas redes pelos equipamentos geradores. Esta frequência é aquela compatível com os equipamentos de consumo domésticos e industriais ligados à rede.

É importante notar a distinção entre potência e energia. A Potência é expressa em Watts e corresponde à “energia” fornecida ou consumida instantaneamente. A Energia é expressa em Watts.hora e corresponde à quantidade de potência consumida ou produzida num intervalo de tempo de uma hora. A relação básica entre potência e energia exprime-se matematicamente pela expressão:

$$P = dE/dt$$

onde  $E$  denota a energia,  $P$  a potência e  $t$  o tempo (Sucena Paiva, 1999). Sendo a potência a derivada da energia em ordem ao tempo, tem-se inversamente que energia corresponde ao



integral da potência num intervalo de tempo. O conceito utilizado quando se define a procura máxima num sistema é de potência, ou seja, o consumo instantâneo verificado num determinado momento muito curto. O mesmo conceito é igualmente utilizado quando se analisa capacidade de produção instalada ou capacidade de transporte.

Os equipamentos de geração geram potência activa e potência reactiva. A potência activa é aquela que é utilizada pelos equipamentos consumidores. A potência reactiva não é utilizada pelos equipamentos consumidores, sendo consumida ou produzida pelos elementos da rede (unidades de geração, transformadores, etc.). A energia reactiva ocupa parte da capacidade de transporte existente. Por este motivo e por razões de estabilidade de tensão e minimização de perdas, procura-se controlar/minimizar a potência reactiva. Para isso, as fontes de energia reactiva são operadas automaticamente ou manualmente através de mecanismos de compensação.

### ***O despacho da produção***

A manutenção do nível de frequência e tensão na rede constitui uma componente central da gestão em tempo real de um sistema eléctrico. Desvios entre produção e consumo conduzem a alterações de frequência, indesejáveis para o funcionamento dos equipamentos ligados à rede. Se a potência injectada na rede num determinado instante for inferior à carga/consumo do sistema a frequência desce relativamente aos 50 Hz estipulados como norma. Pelo contrário, se a potência injectada for superior à carga do sistema então a frequência sobe face a esse referencial.

A não viabilidade económica do armazenamento de energia, dita, por um lado, que qualquer quantidade de energia produzida tem que ser consumida instantaneamente e, por outro lado, que qualquer necessidade energética terá que ser satisfeita instantaneamente através dos meios de produção disponíveis. O equilíbrio de potência num sistema eléctrico exige uma coordenação das actividades de produção sendo obtido em dois estágios.

Num primeiro estágio, ajusta-se um programa de produção a uma previsão do diagrama de carga do sistema. Esta programação é feita para períodos horários ou semi-horários, resultando numa programação de produção em intervalos descontínuos (ver figura 2.3), que se aproxima ao perfil predito da curva de carga.

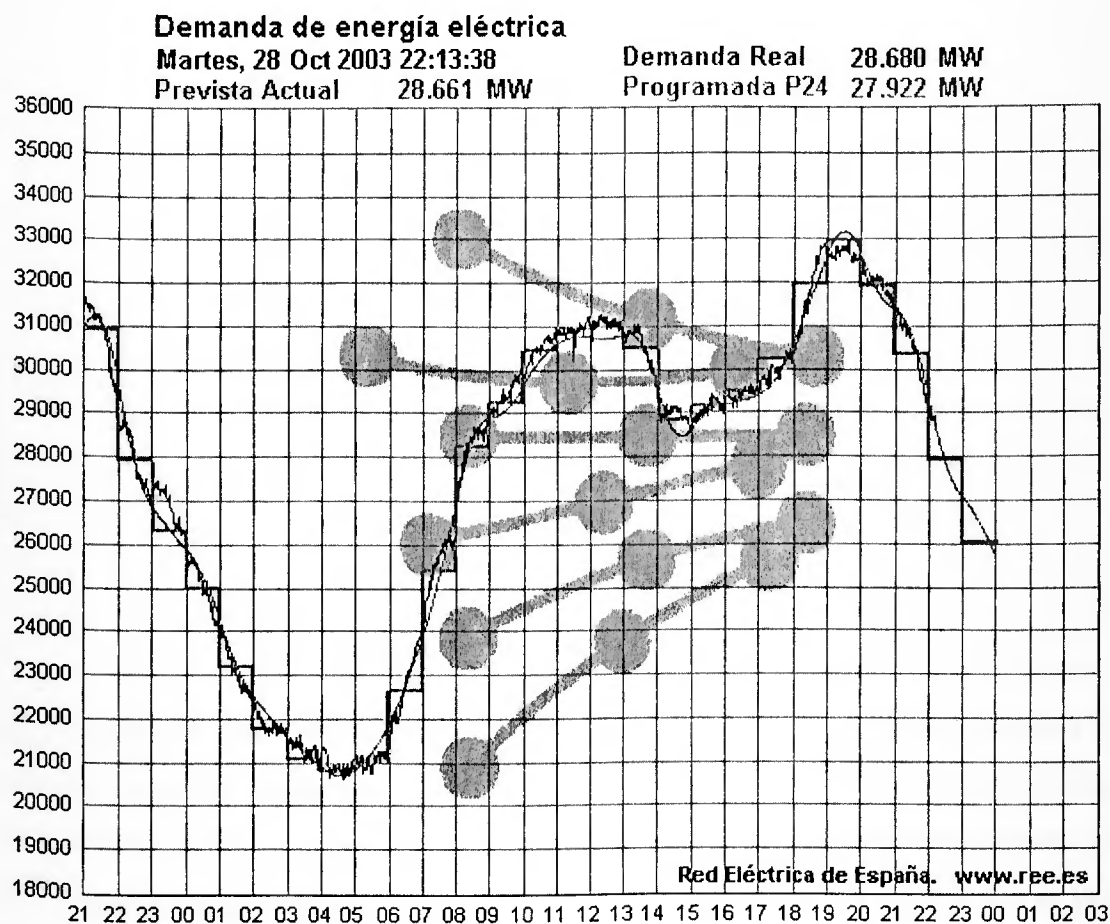
Num segundo estágio, ajustam-se, em tempo real, os desvios potência, através dos serviços de sistema. Os desvios de potência ocorrem necessariamente por via de vários factores. São resultado do facto da programação da produção ser uma aproximação em intervalos descontínuos a uma curva de carga contínua. Derivam de potenciais erros de previsão da carga do sistema. Podem resultar ainda da ocorrência de contingências, como a quebra de produção numa central ou a ruptura de uma linha, fazendo divergir de forma repentina produção e consumo.

O grau de precisão da previsão da carga de um sistema depende em grande medida do espaço de tempo que separa o momento de previsão e o momento de ocorrência do consumo. Nessa medida a programação da produção é uma actividade de muito curto prazo. Quanto mais curto for esse espaço de tempo, menor a amplitude do intervalo de confiança da previsão. Por isso, nos sistemas eléctricos, o despacho da produção é definido com apenas algumas horas de antecedência face ao momento em que é aplicado.

Como não é viável em termos económicos o armazenamento de energia eléctrica, a correcção de desvios de potência, através de serviços de sistema, exige que a entidade que opera o sistema em tempo real tenha controlo de algumas unidades de geração com capacidade de resposta às solicitações necessárias.

O despacho da produção tem associado o conceito de Unit Commitment, que deriva das características do diagrama de carga de um sistema eléctrico: existe um mínimo abaixo do qual a procura nunca desce, definido como a *base load demand*; a procura máxima de pico é atingida em períodos muito curtos. A leitura das características de um diagrama de carga implica que apenas em períodos muito curtos é necessário recorrer a todas as centrais instaladas num sistema eléctrico; nos períodos de baixa procura é requerida a participação de um número menor de centrais. As centrais que intervêm nos períodos de base load distinguem-se, nas suas características económicas e produtivas, das centrais que intervêm nos períodos de *peak load*.

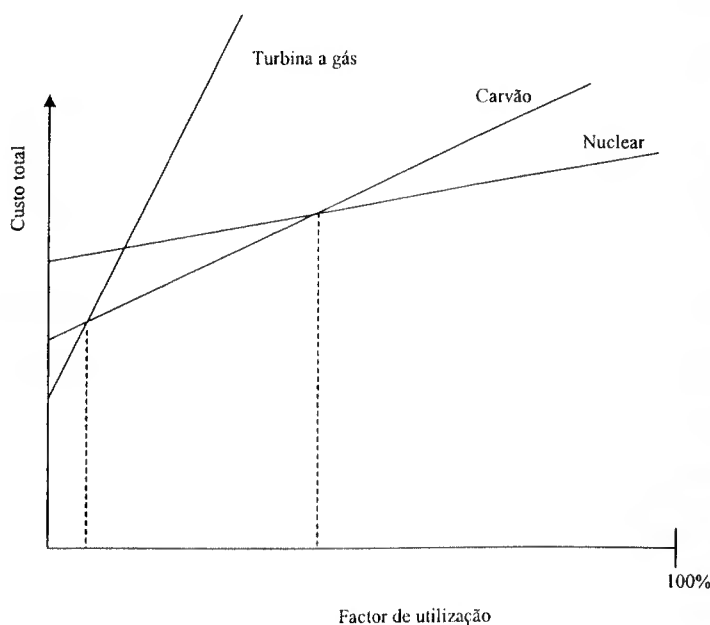
Figura 2.3 Produção programada, carga real e carga prevista no sistema eléctrico de Espanha no dia 28 de Outubro de 2003



Fonte: REE, 2003

Nessa medida, estabelece-se uma classificação das unidades produtivas segundo diferentes categorias. As unidades de *base load*, caracterizam-se por custos médios de produção relativamente baixos e são utilizadas com factores de utilização elevados e perfis de produção estáveis. Entram nesta categoria as centrais térmicas mais eficientes instaladas num dado sistema eléctrico.

**Figura 2.4 Custo total de produção por tipo de central em função da taxa de utilização**



Fonte: Energy Economics, Eden, R. et al, 1981

As unidades de *intermediate load*, apresentam custos de produção mais elevados que as unidades de produção anteriores, sendo normalmente centrais térmicas menos eficientes. São utilizadas em períodos de procura mais elevada, quando a capacidade das unidades de base load é insuficiente face às condições de procura. Tipicamente o perfil de produção de unidades deste tipo varia de acordo com as condições de carga do sistema, aumentando durante as horas de maior carga e diminuindo nas horas de menor carga. Ao longo do ano a sua taxa de utilização também varia em função das variações sazonais de carga dos sistemas.

As unidades de peakload são utilizadas apenas em períodos de procura de pico e apresentam custos unitários de produção elevados. Enquadram-se nesta classificação as centrais de turbina a gás, pouco eficientes mas de baixos custos de construção e de utilização flexível, derivado das suas características produtivas (arranque frio rápido). Centrais deste tipo existem sempre nos sistemas eléctricos como unidades de último recurso em situações extremas da procura e de ocorrência de contingências, como quebras de unidades de produção e de linhas. Como é demonstrado na figura 2.4, para baixos factores de utilização, os custos totais da sua utilização são mais baixos que para os outros tipos de centrais. Esta situação justifica-se na menor componente dos custos fixos de capital e menores custos de arranque a frio.



As unidades hidroeléctricas, dadas as suas características produtivas e restrições associadas à capacidade limitada de recursos hídricos, são utilizadas de forma diferenciada ao longo do ano e do dia, consoante a disponibilidade de recursos hídricos, que varia sazonalmente e de ano para ano, em função dos regimes hidrológicos. Apesar de tipicamente serem as centrais que fornecem energia eléctrica aos mais baixos custos de produção a sua utilização dificilmente se enquadra nas classificações acima descritas, mais adaptadas a centrais térmicas.

O problema de despacho da produção consiste assim na selecção das centrais eléctricas que, em cada momento, deverão satisfazer um determinado nível de carga, sujeito às restrições impostas pelas limitações técnicas da rede de transporte. É possível observar diferentes metodologias para definir o despacho da produção, desde aquelas praticadas no seio do monopolista, baseadas em problemas de minimização de custos, àquelas associadas aos mercados eléctricos, baseados em mecanismos de mercado.

Tratando-se de um problema matemático de minimização de custos – como no caso de uma pool eléctrica, intervêm nesta decisão três tipos de critérios: custos – os custos unitários de cada unidade de produção; disponibilidade – características produtivas de cada tipo de central e paragens de manutenção previstas; viabilidade técnica da operação da rede face à ocorrência de congestionamentos. A dimensão matemática do problema situa-se normalmente nos milhares de variáveis e equações, dispostas matricialmente, tantas quanto o número de componentes do sistema – unidades de geração, nós, linhas, transformadores, etc. O problema matemático subjacente inclui situações de não-convexidade (imobilidade das instalações de geração e transmissão, economias de escala na geração e não linearidade na transmissão) e externalidades (sobretudo no transporte).

### ***Serviços de Sistema***

As operações de serviços de sistema têm por fim a correcção de desvios de potência ocorridas em tempo real. Como a energia eléctrica não é armazenável (pelo menos em condições económicas viáveis para a sua operação num sistema eléctrico), o operador de sistema tem que garantir o controlo de pelo menos uma unidade de produção no sentido de corrigir os desequilíbrios de potência. Aplica-se assim o conceito de reserva de potência, potência que o operador de sistema poderá utilizar para corrigir os desequilíbrios. A definição da quantidade

de reservas necessárias decorre da avaliação do operador de sistema face às condições de operação do sistema.

Os desvios de potência podem também ser corrigidos do lado da procura, caso existam consumidores dispostos a variar (incrementar ou diminuir) o seu consumo em conformidade com as condições de operação do sistema.

As reservas podem ser classificadas segundo o tipo de centrais produtoras que oferecem este serviço. Tipicamente, centrais que possam variar a sua produção, de 4 em 4 segundos, para cima ou para baixo e com gradientes de subida e descida elevados (MW/minuto), fornecem serviços de regulação automática de frequência, também designados por reservas primárias. Centrais que consigam aumentar a sua potência até à sua capacidade máxima instalada em menos de 10 minutos, fornecem reservas operacionais, também designadas por reservas secundárias, que podem ser despachadas pelo operador de sistema com uma antecedência de minutos face ao momento do despacho. Centrais que consigam aumentar a sua produção entre 30 e 60 minutos, fornecem reservas de reposição/substituição também designadas por reservas terciárias.

As reservas podem também ser classificadas em reservas girantes, associadas a centrais produtoras em actividade e sincronizadas com a rede, e reservas não girantes, associadas a centrais paradas mas com capacidade de rapidamente entrarem em funcionamento com níveis de potência e frequência adequados. As reservas implicam naturalmente um sobrecusto na produção de energia eléctrica pois referem-se a centrais em funcionamento (parcial ou total) sem produzirem energia eléctrica (parcial ou total).

Os serviços de sistema consistem basicamente no conjunto de operações de controlo, em tempo real, das reservas de potência oferecidas pelas centrais eléctricas. Segundo as definições da UCTE (Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity), o equilíbrio de potência/frequência compreende as seguintes operações:

- 1) Controlo primário – controlo automático rápido e descentralizado em algumas centrais produtoras
- 2) Controlo secundário – controlo automático centralizado em cada centro de controle

### 3) Activação manual de reservas de curto prazo – coordenado no centro de controle

Como as centrais produtoras que actuam no controlo primário reagem a desequilíbrios de potência, a sua resposta conduz inevitavelmente à transferência de potência entre fronteiras do sistema, nomeadamente através das interligações. O controlo secundário actua apenas na parte do sistema a que diz respeito o centro de controle. Para o fazer o centro de controle secundário tem que usar como informação a quantidade programada de trocas de energia eléctrica entre sistemas através da interligação.

#### *Restrições de capacidade de transporte*

Numa rede, em cada linha, o fluxo de potência deve encontrar-se dentro dos limites de capacidade para esta estipulado. Os limites de capacidade de uma linha podem ser analisados sob dois pontos de vista: os limites físicos das linhas e os limites operacionais. Os limites físicos são determinados pelas características técnicas das linhas (térmicos, tensão, estabilidade). Os limites operacionais são determinados com base na aplicação de medidas preventivas quanto à ocorrência de contingências, como a quebra de produção numa unidade de geração, ruptura de uma linha, etc. Por exemplo, em caso de quebra de uma linha, a potência que transitava por essa linha é repartida por todas as outras. Nessa medida, os limites operacionais são inferiores aos limites físicos das linhas, como forma de garantir uma capacidade de reserva disponível para fazer face a este tipo de situações.

Os limites operacionais das linhas são calculados com base na aplicação de critérios de segurança sobre condições simuladas de utilização da rede, definidas a partir de cenários extremos. Resultam daqui valores máximos permitidos que deverão ser respeitados na programação do despacho. O critério de segurança (n-1), determina que a rede deverá sobreviver à falha de um qualquer componente. A combinação de falhas também é utilizada designando-se, em conformidade, como o critério (n-2) ou superior. Contudo, a forma como estes critérios de segurança são aplicados não é única. As combinações possíveis de contingências, o grau de tolerância a pequenas violações técnicas e a selecção das condições relevantes de carga dos sistemas (padrões de consumo e de produção) ficam em grande medida ao critério dos operadores de sistema, existindo abordagens mais ou menos conservadoras em relação ao risco aceitável. Resultam dessa forma diferentes formas de

proceder ao cálculo dos limites operacionais. Assim, para uma mesma linha, operando em condições idênticas, os limites operacionais poderão ter interpretações diferentes, consoante o tipo de abordagem em relação ao risco adoptada pelo operador de sistema.

Esta situação é particularmente problemática na definição da capacidade de interligação entre redes exploradas por diferentes operadores de sistema.

### *Congestionamentos*

Um congestionamento numa rede de transporte ocorre quando uma parte do sistema de transporte não pode ser operado de forma segura para um dado padrão de geração, consumo e fluxos de potência (ERSE, 2002). O restauro das condições de segurança do sistema é obtido alterando o padrão de produção conforme intervenção do operador de sistema.

O congestionamento poderá ter origem em dois tipos de factores. O primeiro e mais fácil de perceber deriva do limite físico ou operacional de uma determinada linha. O segundo tipo deriva de limites de voltagem nos nós/barramento, que limitam a quantidade potência que pode transitar nas linhas, mesmo quando existe excesso de capacidade de transporte disponível. Os limites de voltagem requerem atenção tanto à potência activa como à potência reactiva. Trata-se de um conceito complexo que ultrapassa o âmbito temático do presente trabalho. A referência e análise de congestionamentos será assim restrita aos casos de congestionamentos de linhas.

Em redes de transporte domésticas, configuradas de acordo com as necessidades de transporte de um determinado território, os congestionamentos serão em princípio reduzidos. Contudo, na interligação entre sistemas, dependendo da capacidade de transporte disponível e de factores de ordem económica, a ocorrência de congestionamentos pode ser relativamente frequente.

Os congestionamentos poderão estar associados a ocorrências particulares do lado da produção (unidades de geração paradas em manutenção) ou do lado do consumo (motivado por situações atmosféricas extremas), ou obedecer a padrões sazonais específicos, resultantes das variações sazonais dos perfis de carga e da disponibilidade das centrais, em particular as hidroeléctricas. Nas interligações os congestionamentos podem estar associados às trocas

comerciais de energia, nomeadamente quando se conjugam uma reduzida capacidade de transporte na interligação com diferenças de preços significativas entre sistemas/mercados.

A gestão de congestionamentos nas interligações tem presente a publicação dos valores de capacidade de transporte disponível, determinados a partir da aplicação de critérios de segurança, tendo subjacente um determinado padrão de consumo e produção. Estes valores fixam os valores máximos de transacção permitida entre dois sistemas e a sua publicação é usualmente diária e com referência aos valores permitidos em cada hora.

Sendo muito variáveis as condições que presidem à ocorrência de congestionamentos a sua tipificação torna-se difícil, em particular quando estão envolvidos fenómenos de fluxos paralelos.

É o que ocorre tipicamente nas interligações entre sistemas definidas de forma malhada (por mais de que uma linha). Neste contexto, a selecção das condições relevantes para a determinação dos valores de interligação poderá ser de certa forma arbitrária. Como refere o North American Electric Reliability Council<sup>1</sup>, *while "transfer capabilities" between one system and another are often quoted, it is understood by those who determine them, and those who use them, that these capabilities are approximations for a specific set of conditions and not firm values that apply at all times. Therefore, a published "transfer capability" should be regarded more as a typical or average value. The actual capability at any moment may be considerably higher or considerably lower.*

A determinação dos valores de interligação entre sistemas tem ainda uma complexidade adicional. Uma linha que enfrente injeções de potência em cada uma das suas extremidades terá um trânsito de potência definido em função da diferença de potencial existente entre essas injeções e não em função do valor absoluto de cada injeção. Ou seja, poderão existir situações em que cada injeção poderá violar o limite operacional da linha mas a sua diferença de potencial não. Esta situação é particularmente evidente na análise dos fluxos de potência de sentidos opostos nas interligações. Na medida que cada operador de sistema não tem controlo

---

<sup>1</sup> Citado por Hogan, 1992

sobre o fluxo de potência proveniente do sistema vizinho, o risco inerente de ocorrência de congestionamentos é maior. Por exemplo, em caso de ruptura do abastecimento no sistema vizinho, resulta uma eventual mudança/reforço do sentido do trânsito de potência, o qual poderá violar o limite de capacidade de potência disponível. É por isso comum a adopção de cenários extremos na determinação dos valores de interligação, que tendem a fazer divergir de forma acentuada os limites operacionais aceites dos limites físicos realmente disponíveis. O reforço da coordenação em tempo real entre operadores de sistema pode contudo permitir a adopção de cenários menos conservadores em relação ao risco. Trata-se de uma matéria de grande importância em mercados eléctricos.

### *Métodos de resolução de congestionamentos*

Um congestionamento tem normalmente associado a definição de um custo de oportunidade explicitamente mensurável em termos económicos. No problema de despacho aplicado por um monopolista, a resolução de um congestionamento, baseada em critérios de custo, consiste, simplificada, na substituição de produção distante de mais baixo custo por produção localizada, mais cara, na zona congestionada na rede. Em mercados eléctricos a sua resolução tem inerente mecanismos de mercado baseados nos preços de energia eléctrica licitados pelas firmas participantes nos leilões de electricidade dos mercados diários. Estes mecanismos são aqui sucintamente introduzidos e descritos de forma mais detalhada no próximo capítulo. Como se verá não existe um método único, antes diversos, representando opções diferenciadas quanto ao controlo oferecido ao operador de sistema na definição das transacções, à eficiência económica do despacho e à simplicidade e transparência do funcionamento do mercado. Em mercados eléctricos, os métodos de resolução de congestionamentos podem ser repartidos por três categorias (ETSO, 2001):

- Leilões explícitos, onde apenas se transacciona capacidade de transporte entre duas zonas;
- Leilões implícitos, onde o preço de transacção da energia (MWh) e o preço de transacção da capacidade de transporte entre duas zonas são calculados de forma conjunta e simultânea;

- Counter trading e o redespacho.

Os leilões implícitos consistem em mecanismos de resolução de congestionamento incorporados no funcionamento dos mercados de curto prazo baseados em pools. O modelo baseado em nodal prices, com maior expressão nos Estados Unidos, e o modelo de market splitting, aplicado no Nordpool são exemplos de leilões implícitos. Ambos associam-se a sistemas interconectados, cobrindo vários países/estados, onde os problemas de congestionamento nas interligações são potencialmente significativos. A sua aplicação traduz-se em preços de equilíbrio da energia eléctrica específicos a zonas/nós da rede de transporte. O mercado de capacidade de transporte é definido assim de forma implícita.

O princípio subjacente a um leilão explícito consiste no racionamento da capacidade de transporte de energia entre os agentes interessados na sua utilização, transaccionado direitos de uso das linhas/ligações correspondentes à quantidade de energia a transaccionar. Utiliza-se para fundamentar transacções bilaterais físicas. Os leilões explícitos poderão ser de preço uniforme ou de preço discriminado (pay-as-bid). Os direitos transaccionados poderão ser definidos para diferentes horizontes temporais e serem firmes ou interruptíveis. Poder-se-á aplicar (ou não) o princípio de “use it or loose it”, segundo o qual a capacidade adquirida, não sendo utilizada pelo detentor do direito, pode ser recuperada pelo operador de mercado/sistema sendo alocada no mercado do dia seguinte, prevenindo-se assim situações de abuso de poder de mercado. O preço definido para cada ligação, sendo o mercado eficiente – com ganhos de arbitragem nulos, deverá traduzir a dimensão económica do congestionamento. Ou seja, as diferenças de preços da energia entre as duas extremidades da ligação deverão ser equivalentes ao preço pago em leilão pela possibilidade da sua utilização.

Os leilões explícitos são reconhecidos pela sua relativa simplicidade como método de resolução de congestionamentos. Correspondem ao método tradicional de resolução de congestionamentos nas interligações. Comparativamente aos leilões implícitos têm como desvantagem a separação formal entre a transacção de energia e a transacção da capacidade de transporte correspondente, podendo colocar obstáculos à realização do comércio (ERSE, 2002). Nessa medida, são mais adequados para a contratação de bilateral física de longo prazo, embora neste horizonte temporal seja difícil avaliar a quantidade de direitos susceptíveis de serem transaccionados – pelos motivos expostos no ponto anterior. Trata-se também de um

método de difícil aplicação quando as transacções bilaterais físicas envolvem a necessidade de adquirir direitos sobre mais do que uma interligação, tanto pelos potenciais obstáculos ao comércio que coloca como pela necessidade de coordenar a acção entre diversos operadores de sistema. O exemplo apresentado na figura 2.5, tomando como referência uma transacção bilateral física entre França e Itália de 1000 MW, é elucidativa de uma situação deste tipo (as setas designam a quantidade de potência transita por cada fronteira): a reduzida capacidade de interligação entre França e Itália implica que parte importante transacção seja veiculada através de outras interligações; neste caso a energia transita pela interligação entre mais de 7 países.

Figura 2.5 Fluxos de potência numa transacção de 1000 MW entre França e Itália

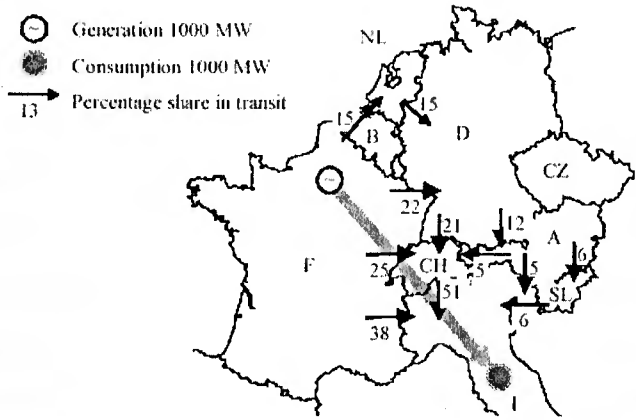


Fig. B.4: Power flow distribution of a 1000 MW transport from Northern France to Italy (simulation results; only major flows shown) [1]

Fonte: Comissão Europeia, DGTREN

O redespacho e o counter trading consistem em mecanismos de resolução de congestionamentos que envolvem a intervenção do operador de sistema sobre as transacções de energia eléctrica estabelecidas em mercados do dia seguinte. Como tal exigem a independência do operador de sistema, por forma a garantir que esta intervenção seja não discriminatória. Neste tipo de métodos, o operador de sistema repercute os custos de congestionamento uniformemente por todas as transacções. A sua aplicação é mais comum em sistemas/mercados em que os problemas de congestionamentos são diminutos.



### 3. ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO DOS MERCADOS ELÉCTRICOS

*The fundamental assumption is that there is workable competition in generation and some services, but there is a continuing monopoly in the case of the wire businesses of transmission and distribution. (Hogan, 2001)*

*If there were no scarcity of transmission capacity then energy markets could be conducted like other commodity markets. The fundamental problem in transmission is that real-time balancing and security requires control by a single authority that can draw on resources offered on a spot basis, or failing that, ancillary services held in reserve. Thus, real-time operations are invariably managed by a system operator (SO). The design problem is therefore focused on how far to extend the authority of the SO, and in doing so, how much to rely on market processes. (Wilson, 1998)*

A livre entrada na produção e no retalho e o acesso não discriminado às redes são os dois aspectos fundamentais que caracterizam a liberalização dos mercados eléctricos. Como tal, é abandonado o modelo de planeamento central baseado em empresas monopolistas, consagrando mudanças importantes na estrutura e organização do sector eléctrico. Introduce-se uma mudança no modelo de regulação pública das actividades eléctricas, agora focalizado nas actividades de transporte e distribuição, e a regulação tarifária dos preços de energia passa a ser realizada em novos moldes ou é mesmo abandonada. A tarifação pelos custos médios de energia avaliados num determinado período é substituída pela determinação de tarifários baseados nos preços praticados nos mercados grossistas. Os novos regimes tarifários passam assim a ter em conta informação de preço obtida no mercado e não informação de custo fornecida pelo monopolista e aceite pelo regulador.

Neste contexto, os processos de mercado, ou seja, as decisões descentralizadas dos agentes económicos, substituem os processos centralizados anteriormente desenvolvidos pelos planeadores centrais/incumbentes originais. Isto é válido tanto para as actividades de gestão de um sistema eléctrico no horizonte de curto prazo – o despacho da produção e os serviços de sistema, como para os investimentos em novas centrais, no horizonte de médio e longo prazo.

Nos mercados eléctricos, a resolução de congestionamentos possui um papel fundamental, na medida em que as redes eléctricas, por limites de capacidade transporte, restringem o leque de transacções possíveis. Deste modo, nem todas as transacções de energia podem tomar lugar. Os graus de liberdade no encontro entre compradores e vendedores são por isso limitados.

Definir mercados grossistas de energia eléctrica colocou a necessidade de determinar quais os mecanismos de mercado a adoptar face às complexas restrições e externalidades de rede e aos requisitos de fiabilidade e eficiência na gestão corrente da produção. Como refere Hogan (1997), contrário à visão extrema do modelo de mão invisível para a definição do despacho, a tecnologia actual presente nos sistemas eléctricos requer a visível intervenção de um operador de sistema para gerir os fluxos de energia de curto prazo associados à operação das unidades de produção. Até que ponto se estende esta intervenção depende em grande medida do tipo de desenho de mercado adoptado.

Em função do grau de controlo exercido pelo operador de sistema e do modelo de leilão adoptado podemos distinguir modelos de despacho centralizado e modelos de despacho descentralizado. O modelo de despacho centralizado tem fundamento na pool obrigatória inspirando-se em grande medida nos procedimentos de organização do despacho aplicados em monopólio (Wilson, 1998). Neste modelo de mercado todas as transacções físicas de energia são obrigatoriamente realizadas através da pool. Preserva-se desse modo no operador de sistema o controlo de todos os aspectos ligados à produção e transporte de energia. Num modelo deste tipo o resultado de mercado é obtido como um processo de minimização de custos a partir das ofertas dos agentes económicos. Trata-se do modelo aplicado nas experiências originais de liberalização.

O modelo de despacho descentralizado, pelo contrário, associa-se às novas arquitecturas de mercado, onde são admitidas formas de contratação bilateral física paralelamente às transacções definidas nos mercados de curto prazo. O processo centralizado de minimização de custos é parcialmente substituído por mecanismos de mercado desenvolvidos à medida da natureza dos sistemas eléctricos, sustentados em relações contratuais em horizontes temporais variáveis. Nesse sentido cada agente define o seu nível de produção com base nas relações contratuais que firma ao invés da pool obrigatória, em que é o operador de sistema que aloca a cada central um nível de produção baseado num processo matemático de optimização.

Pools voluntárias e bolsas de energias têm subjacente modelos de leilão distintos. Numa pool voluntária o processo de licitação, de determinação de preços e de resolução de congestionamentos deriva em grande medida das pool obrigatórias inicialmente implementadas. As bolsas de energia apresentam processos de licitação e de formação de preços distintos das pools, próximos do conceito de bolsa tradicional de *commodities*.

### 3.1. O desenho de mercado das actividades grossistas

O desenho institucional de um mercado eléctrico é composto pelo conjunto de regras estabelecidas para definir as transacções de energia eléctrica compreendendo basicamente dois tipos de mercados.

O **mercado forward de energia**, o qual tem por função definir as transacções que tomarão lugar no futuro, cobrindo diferentes horizontes temporais – desde a hora seguinte até várias semanas após, e durações de contrato variáveis – desde a hora/meia hora até um/dois anos. Este mercado supõe quatro sub-mercados organizados: o(s) mercado(s) horário(s), o mercado do dia seguinte, o mercado de derivados financeiros de produtos eléctricos e o mercado estandardizado de contratos bilaterais físicos. A contratação bilateral física permite ainda a existência de um mercado informal baseado no encontro casuístico entre fornecedores e compradores. Às transacções definidas no mercado *forward* associa-se uma programação de carga/produção aplicada diariamente e em tempo real.

O mercado forward inclui assim um vasto leque de arranjos contratuais, disponíveis aos agentes para realizarem a contratação de energia e a inerente gestão do risco. Estes poderão contemplar desde contratos bilaterais físicos, futuros, opções, mercados do dia seguinte ou da hora seguinte. Embora o mercado do dia seguinte seja muitas vezes apelidado de mercado spot, na realidade trata-se de um mercado forward de muito curto prazo, na medida que define transacções a prazo de um dia.

O **mercado de serviços de sistema**, necessariamente conduzido pelo operador de sistema, tem por função manter o equilíbrio em tempo real entre produção e consumo. Os produtos de energia eléctrica transaccionados neste mercado – reservas remuneradas e ofertas de potência

a descer e a subir, correspondem ao conjunto de recursos utilizados pelo operador de sistema para realizar esta função. Incluem a regulação automática de tensão/frequência (controlo automático da produção) e a gestão e utilização de reservas secundárias e terciárias, girantes e não girantes. Na medida que define as condições financeiras para a energia fornecida em tempo real é muitas vezes atribuída a este mercado a designação de mercado spot de energia.

Na generalidade dos mercados eléctricos, o mercado do dia seguinte ocupa um papel central na organização do mercado eléctrico. Quer pela sua função de fornecer preços de referência para as transacções económicas estabelecidas noutros mercados secundários, quer pela forma como são reproduzidos os aspectos regulamentares desse mercado nos outros mercados, como sejam o tipo de derivados financeiros transaccionados ou o tipo de exigências introduzidas nas contratações bilaterais físicas (obrigando ou não à aquisição de direitos de capacidade de transporte). Em teoria, este mercado não é estritamente necessário para resolver os desequilíbrios de energia, relegando esta actividade na sua totalidade no mercado de serviços de sistema. Contudo, como refere o FERC, "experience has shown that the combination of a day-ahead market and real-time market enhances system reliability and efficiency compared to operating only a real-time market."

São aspectos fundamentais do desenho de mercado (i) o modelo de leilão adoptado no mercado do dia seguinte e (ii) o mecanismo de resolução de congestionamentos aplicado. Tratam-se de aspectos que intervêm de forma decisiva no processo de formação dos preços. Por um lado, o modelo de leilão poderá definir preços uniformes (aplicados a todas as transacções estabelecidos num determinado momento do tempo) ou discriminados – um preço específico para cada encontro específico entre comprador e vendedor; poderá ser baseado em licitações únicas ou múltiplas, resultando, em conformidade regras de licitações diferenciadas. Por outro lado, em função do método de resolução de congestionamentos, poderemos ter preços que dependem da zona da rede / nó em que são incorporados / extraídos os fluxos de potência, reflectindo a forma diferenciada como os congestionamentos afectam diferentes pontos da rede, ou preços independentes dessa localização.

Nos próximos pontos far-se-á um percurso pelos arranjos institucionais mais comuns de mercados do dia seguinte. Previamente a esta apresentação, que terá por preocupação

transmitir os traços essenciais que caracterizam cada tipo de arranjo institucional, apresentam-se os modelos de leilão mais comuns nos mercados eléctricos.

### **3.1.1. O mercado do dia seguinte**

*Auction rules are central to understanding how aggressively parties will bid, who will win, and how cheaply a contract will be procured (or, in a sale auction, how much money the product will sell for).* Catherine Wolfram, 1999

#### **Modo de organização do leilão**

Um aspecto comum aos diversos mercados eléctricos é a organização de leilões através de *clearinghouses*. A clearinghouse constitui um agente facilitador da transacção, fazendo o encontro entre as ordens de venda e de compra submetidas pelos agentes participantes de acordo com regras publicas, conhecidas e aceites por todos. A clearinghouse assume-se como a contraparte negocial de todos os agentes participantes, intermediando todas as transacções: os agentes produtores vendem energia à *clearinghouse* e os agentes compradores compram a energia à *clearinghouse*. Os pagamentos e recebimentos são igualmente centralizados na clearinghouse, assumindo esta o risco de incumprimento das obrigações financeiras estabelecidas. Nessa medida as transacções desenrolam-se de forma anónima. Quando um agente compra ou vende energia não conhece a origem ou destino dessa energia.

Este modelo de organização do leilão, comum à maior parte dos mercados financeiros, tem várias vantagens para a organização dos mercados eléctricos. Em primeiro lugar, as regras de participação, transacção e pagamentos não exigem que a clearinghouse conheça antecipadamente o número de participantes, os seus custos privados ou as suas crenças e preferências (Nicolaisen et al, 2000). Em segundo lugar, para os participantes o processo de transacção é simplificado, tendo que lidar apenas com a clearinghouse e não com vários outros agentes. Em terceiro lugar, potenciais problemas de incumprimento de dívidas são assumidos pela clearinghouse, oferecendo segurança adicional aos agentes participantes.

### ***Bolsa vs. Pool***

Nos mercados eléctricos de muito curto prazo é possível identificar diversos tipos de leilões, que podem ser classificados em dois grupos distintos: os leilões estáticos/pool e os leilões iterativos/bolsa. Tratam-se de formas opostas de proceder ao processo de negociação das transacções, enquadrando interpretações teóricas distintas de mercado (Wilson, 1998).

O leilão estático associa-se sobretudo aos mercados baseados em pool. Neste tipo de mercado, em cada sessão, a cada agente participante é permitido fazer apenas uma licitação, realizada em simultâneo com todos os outros agentes. O carácter estático do mercado reflecte-se no facto da resolução inicial do mercado ser igualmente a final. Um mercado formulado nestes termos reflecte a teoria Walrasiana de mercado, em que o mercado equilibra a procura e oferta manifestadas pelos agentes participantes (Wilson, 1998). O modo de competição neste mercado reside então na selecção que cada agente faz das licitações que submete ao mercado, o que exige uma elevada dose de predição prévia na medida que as licitações dos outros agentes são desconhecidas ao momento em que estas são submetidas à clearinghouse.

O leilão iterativo funciona de forma oposta permitindo a cada agente submeter sequencialmente várias licitações numa mesma sessão. Trata-se do modelo adoptado nas bolsas de energia, tendo fortes semelhanças ao dos mercados de commodities. Como adianta o mesmo autor, esta formulação reflecte a teoria Marshalliana de mercado: os agentes formulam ofertas marginalmente próximo dos preços de equilíbrio competindo para a sua aceitação; de forma iterativa e contínua novas ofertas são formulados de acordo com os resultados obtidos nas tentativas realizadas nos rounds anteriores.

### ***Preço uniforme vs. preço discriminado (pay-as-bid)***

Em função dos tipos de leilão é possível observar processos distintos de formação dos preços. Num modelo de leilão estático, o preço uniforme é a solução mais comum: a todos os agentes com licitações bem sucedidas, independentemente do preço lícitado individualmente por cada um, é pago o mesmo preço, ou seja, o preço que equilibra oferta e procura. Num modelo de leilão iterativo praticam-se preços discriminados. Neste caso, o preço que cada agente enfrenta é aquele que licitou, ou seja, o preço válido para cada transacção será aquele específico a cada encontro entre vendedor e comprador. Neste tipo de mercado não existe propriamente um



preço de equilíbrio do mercado mas sim uma multiplicidade de preços, definidos em torno de um valor médio de mercado.

Naturalmente que em função do tipo leilão os agentes adoptarão estratégias de preço/licitação diferenciadas. Num mercado de preço uniforme, cada agente tem incentivo para licitar de acordo com o respectivo custo de oportunidade (custos marginais), na medida que o preço de equilíbrio de mercado será normalmente acima da maior parte dos preços licitados. Transposto à situação específica de um mercado eléctrico tal significa que licitando ao custo de oportunidade o preço de equilíbrio do sistema será fixado pelo produtor que opere o equipamento com custos marginais mais elevados necessário para atender a última unidade de procura. Aplica-se, deste modo, o conceito de preço marginal. Neste tipo de leilão é por isso usual observar produtores que licitam preços muito baixos (ou mesmo nulos), estratégia essa que garante que os produtores serão englobados nas ofertas aceites, recebendo contudo o preço uniforme.

Num mercado de preço discriminado (pay-as-bid ), os agentes licitam um preço definido de acordo com o preço de mercado previsto ou o respectivo custo de oportunidade (neste caso, sendo o custo marginal superior ao preço de mercado previsto). Na medida que os agentes recebem mediante o preço que licitaram, para as ofertas serem bem sucedidas – o par preço quantidade que o vendedor estiver disposto a vender iguala o par preço quantidade que o comprador está disposto a pagar, os agentes terão que licitar ambos de acordo com os preços médios previstos. Um produtor com baixos custos de produção que licite de acordo com o custo de oportunidade facilmente será bem sucedido na sua oferta, contudo licitando abaixo do preço médio de mercado receberá um rendimento inferior. Nessa medida, qualquer produtor terá sempre incentivos a licitar preços próximo dos preços médios de equilíbrio. Um mercado deste tipo pode exibir problemas de informação importantes. Agentes que conheçam melhor as condições da procura (em função do nível de procura intervêm unidades de base load ou peak load) ou disponham de maior quota na produção poderão ter vantagens comparativas em termos da informação disponível para formular as suas ofertas. Como refere Wolfram (1999), um mercado assente em preços discriminados poderá não assegurar a eficiência económica e ambiental na medida que o sucesso no processo de licitação não depende dos respectivos custos de oportunidade (como no modelo de leilão de preço uniforme) mas sim da qualidade

das predições formuladas. É assim possível que os produtores mais eficientes, mediante erros de predição na formulação das suas ofertas possam ser mal sucedidos na sua licitação, sendo substituídos por produtores menos eficientes.

Modelos de leilão estático/preço uniforme e modelos de leilão iterativo/preço discriminado definem assim processos distintos de obter o equilíbrio: no primeiro caso, o resultado de mercado – o par preço quantidade, é obtido numa única iteração; no segundo caso, o resultado de mercado é obtido segundo aproximações sucessivas, num processo de tentativa e erro – em cada sessão, nos sucessivos rounds de ofertas, os agentes que estão na margem vão-se aproximando dos preços de equilíbrio, num processo de aprendizagem quase contínuo.

Ambos os tipos de leilão, como a teoria prediz e a experiência assim o demonstra, tendem a produzir preços próximos, embora os custos reais de produção possam ser mais elevados nos leilões de preço discriminado / pay-as-bid (Hogan, 2001), pelo facto da eficiência produtiva não ser assegurada.

Um leilão com preços uniformes corresponde ao modelo de preço aplicado nas pools eléctricas (independentemente das metodologias de resolução de congestionamentos adoptadas), enquanto o modelo de preços discriminados é o utilizado em mercados eléctricos assente em bolsas de energia.

### *3.1.2. Mercados de serviços de sistema*

O conjunto de actividades que visam assegurar o equilíbrio de potência, condição necessária à manutenção da tensão e da frequência do fornecimento de energia eléctrica dentro de intervalos apertados, exigem uma coordenação centralizada. Os mercados que presidem à fixação das condições de remuneração dos serviços de sistema são necessariamente conduzidos pelo operador de sistema. Este mercado tem como objectivo essencial corrigir o despacho definido nas sucessivas sessões dos mercados de curto prazo – do dia, da(s) hora(s) – ajustando os desequilíbrios entre a carga real e a programada.



O leilão destinado a definir as condições de remuneração dos serviços de sistema segue regras distintas dos outros leilões, ajustados aos tipos de produtos eléctricos transaccionados neste mercado. Estes produtos compreendem, nomeadamente, a regulação automática de frequência/tensão, as reservas secundárias e terciárias e a energia fornecida/não fornecida em termos de desvios relativamente ao contratualizado no mercado do dia seguinte. A quantidade de produtos de energia contratualizados pelo operador de sistema é determinada de acordo com as necessidades por este previstas face às condições de utilização do sistema. Tratando-se de leilões competitivos cabe ao operador de sistema a seleccionar as ofertas mais vantajosas, definindo em conformidade os operadores que deverão participar na oferta de reservas e de energia em tempo real.

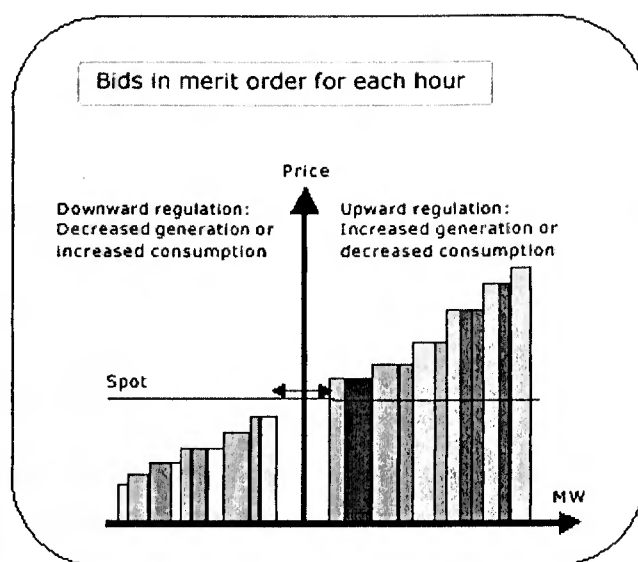
Os serviços de regulação automática de frequência / tensão dependente do desenho de mercado são (ou não) remunerados. No caso de não serem remunerados cabe aos agentes produtores englobarem o seu custo nos preços de energia apresentados ao mercado nas sessões do mercado do dia seguinte.

A participação na oferta de reservas primárias e secundárias usualmente depende das características dos equipamentos geradores dos produtores, nomeadamente os gradientes de potência – capacidade de incremento da sua produção em intervalos pré-definidos de tempo. Nem todos os equipamentos estão aptos para participarem na oferta deste tipo de serviços.

A correcção do despacho em tempo real tem por base as ofertas de preço de potência a subir e potência a descer apresentadas ao mercado de serviços de sistema. As ofertas de potência a subir definem o preço que produtores (consumidores grossistas) estarão dispostos a receber para incrementar a sua produção (diminuir o seu consumo) face ao que foi programado/contratado no mercado do dia seguinte. As ofertas de potência a descer definem o preço que produtores (consumidores grossistas) estão dispostos a pagar para reduzir a sua produção (incrementar o seu consumo). A racionalidade própria ao processo de licitação das ofertas de potência a descer determina que os agentes licitem um preço a pagar inferior ao que contrataram no mercado do dia seguinte – o preço de sistema no caso de uma pool ou o preço licitado no caso de uma bolsa de energia. Assim sendo, se um determinado agente se vê forçado a reduzir a sua produção face ao inicialmente contratado receberá uma compensação, avaliada na diferença entre o preço recebido na sessão do mercado do dia seguinte e o preço

pago no mercado de serviços de sistema. Tratando-se de um leilão competitivo o operador de sistema selecciona as propostas mais vantajosas para a potência a subir e para a potência a descer. No caso do leilão de serviços de sistema do Nordpool e na Pool de Espanha as ofertas são sempre licitadas face ao preço de sistema apurado nas sessões do mercado do dia seguinte (figura 3.1).

**Figura 3.1 – Exemplo das ofertas de potência a descer e potência a subir no Nordpool**



Fonte: Nordpool

Os mercados de serviços de sistema são também utilizados como suporte à aplicação de métodos de resolução de congestionamentos, como o counter-trading, explicado mais adiante neste capítulo.

### 3.1.3. Mercados de derivados

Os mercados de derivados financeiros de produtos de energia eléctrica têm por função permitir aos agentes participantes a gestão do risco de preço. Nestes são transaccionados produtos financeiros derivados de produtos de energia eléctrica, fixando preços para uma quantidade contratualizada, tendo por referência os preços praticados nos mercados spot. A quantidade fixada nestes contratos não é vinculativa em termos das transacções fisicamente verificadas. Estes produtos são estritamente financeiros. O leque de instrumentos financeiros disponíveis é próximo daquele que é possível observar nos mercados tradicionais de commodities, variando de mercado para mercado, consoante as especificidades do desenho de mercado adoptado. É

por isso possível identificar transacções em futuros, forwards, opções de venda e de compra e contratos por diferenças.

### **Tipos de produtos transaccionados num mercado de derivados**

Os produtos usualmente trocados neste mercado são os futuros, os forwards, contratos por diferenças e opções. Os futuros são produtos estandardizados de compra e venda de uma determinada quantidade de energia eléctrica a um determinado preço durante um determinado período de tempo. Desde o momento da transacção até ao momento da maturidade do produto os ganhos ou perdas são contabilizados e processados diariamente.

Os forwards são produtos semelhantes aos futuros mas em que o acerto de contas é feito apenas na data de maturidade.

A standardização dos produtos facilita as trocas aumentando a liquidez e introduz transparência no processo. Os produtos são standardizados podendo tratar-se de contratos dos seguintes tipo:

- Diários, semanais ou mensais.
- Para abastecimento na base do diagrama de cargas ou em horas de ponta.
- Com preços estabelecidos.

Os contratos por diferenças asseguram um determinado preço, sendo paga ou recebida a diferença entre o preço que se forma no mercado e o preço acordado no contrato.

As opções podem ser:

- Opção de compra – na qual o vendedor se compromete a vender a um preço menor ou igual ao preço de exercício.
- Opção de venda – na qual o vendedor só vende a um preço superior ao preço de exercício.

Diversas combinações de opções oferecem diferentes tipos de cobertura de risco.

Fonte: ERSE/CNE, Mercado Ibérico de Electricidade, Documento de discussão, 2001

Sobre os mercados de derivados expressam-se motivações variadas. Os produtores previnem choques de preços sobre a sua produção futura, assinando contratos de futuros, forward e por diferenças; gerem igualmente a sua capacidade de produção através de contratos de opção contra os preços praticados no mercado spot – consoante a situação, mediante contratos de opção, um determinado produtor poderá satisfazer as suas obrigações contratuais, estabelecidas em contratos bilaterais físicos, através de produção própria ou recorrendo ao

mercado do dia seguinte como comprador. Trata-se de uma opção racional quando o preço no mercado do dia seguinte é inferior aos respectivos custos marginais de produção.

Os comercializadores/distribuidores previnem igualmente choques nos preços; acresce que os tarifários usualmente praticados no retalho não reproduzem, ou reproduzem apenas de forma parcial a sensibilidade diária e sazonal dos preços spot, o que os expõe a riscos de tesouraria significativos. A cobertura deste tipo de risco é usualmente obtida a partir de contratos por diferença.

Os investidores em novos equipamentos de produção utilizam igualmente os mercados de derivados, assegurando a fixação de preços para a respectiva produção futura.

As autoridades de regulação vêem igualmente o mercado de derivados como forma de mitigar abusos de poder de mercado. Esta é obtida impondo a firmas dominantes contratos forward para horizontes temporais alargados (Newbery, 2002). Sendo a cobertura oferecida por estes contratos elevada, esta situação limita fortemente os incentivos à manipulação dos mercados do dia seguinte, na medida que os preços que as firmas dominantes enfrentam se encontram fixos. Este tipo de prática foi seguida nas fases iniciais de arranque da pool de Inglaterra e Gales e no mercado da Califórnia.

A elevada volatilidade dos preços no mercado do dia seguinte induz um risco preço elevado, pelo que o grau de cobertura dos contratos de derivados tende a ser elevada. Na Pool de Inglaterra e Gales cerca de 95% da energia era fornecida com preços fixados através de contratos por diferenças (Patrick, 2001). No mercado de Alberta a cobertura por títulos derivados era igualmente praticamente total (Wilson, 1998).

#### ***3.1.4 Mercados estandardizados de contratos bilaterais físicos***

Os mercados estandardizados de contratos bilaterais físicos consistem na oferta de clearing services para a contratação bilateral física. Pelas vantagens que oferecem aos agentes económicos (tabela 3.1), substituem em grande parte o processo de encontro individualizado entre comprador e vendedor, oferecendo maior transparência à contratação bilateral física. Neste mercado os contratos bilaterais físicos são estabelecidos de forma estandardizada e anónima.

Tabela 3.1 Vantagens e desvantagens dos mercados estandardizados de contratos bilaterais físicos

Standardised market	OTC
Anonymous trading	Bilateral negotiation
Standardised products	Tailor-made products
Low risk of default	Potentially high default risk
Higher transaction costs	Lower transaction costs?
Transparent prices	Opaque prices

Source: OXERA.

Os mercados estandardizados de contratos bilaterais físicos tendem a adquirir grande importância em mercados eléctricos. Neste tipo de contexto, o mercado do dia seguinte tem apenas por função ajustar, no muito curto prazo, as quantidades procuradas e oferecidas não resolvidas em contratos de longo prazo. Nessa medida, a percentagem de transacções efectuadas através do mercado spot representam apenas uma pequena parcela (no caso do Nordpool inferior a 20%), do total de transacções necessárias diariamente para ajustar a procura à oferta. Apesar de uma menor quota no total das transacções o mercado do dia seguinte continua a ter um papel fundamental no funcionamento do mercado grossista, oferecendo preços de referência para todas as formas de contratação estabelecidas nos mercados de derivados e nos contratos bilaterais físicos. Uma reduzida quota do mercado spot no total das transacções não é por isso sinónimo de falta de liquidez e de práticas manipuladoras dos preços. É sobretudo consequência de modelos de gestão do risco realizada por agentes racionais. Como refere Wilson (1999), *“this structure, consisting of a large bilateral market for long-term contracts operating in parallel with a central market for spot trades, is common in various commodity industries – prominent examples are the metals markets, where as little as 5% of trades pass through the metal exchanges even though nearly all contract prices are pegged to the spot prices”*.

No contexto de mercados eléctricos completos, ou seja, mercados que oferecem aos agentes participantes os mecanismos necessários para a gestão do risco, a transacção de energia eléctrica é definida em múltiplas plataformas e em diferentes horizontes temporais (diário, semanal, mensal, sazonal, anual), como é possível verificar na tabela 3.2. As operações de

gestão de carteira de contratos de energia são por isso componente fundamental da actividade dos agentes.

Tabela 3.2 Horizontes temporais para a decisão em mercados eléctricos

TIME INTERVAL		DECISIONS MADE
Decision level 1 <i>5-minute dispatch</i>		Dispatch instructions; Match load to generation
Decision level 2 <i>½ hourly trading</i>		Average spot price and demand data calculated
Decision level 3 <i>Day ahead bidding</i>		Submit bids; forecast short-term demand
Decision level 4 <i>Weekly settlement</i>		Settlement of accounts; medium-term forecasts
Decision level 5 <i>Monthly planning</i>		Select contractors and conserve customers
Decision level 6 <i>Annual planning</i>		Long-term forecasting and supply contracts
Decision level 7 <i>10-year planning</i>		Capacity expansion; Business strategy

Fonte: CSIRO, Simulating our NEM

3.2. POOLs de Energia

A pool de energia constitui a forma tradicional de organizar o despacho da produção. Trata-se de uma forma de organização do despacho assente na coordenação de todos os equipamentos de produção por forma a garantir a minimização de custos de fornecimento da energia eléctrica. Aplicando um programa matemático de optimização, o operador de sistema, tendo em conta o nível de carga do sistema promove em cada momento a utilização óptima dos meios de produção existentes face às restrições técnicas de operação do sistema. Trata-se por isso de um modelo que garante a eficiência produtiva de curto prazo conforme os custos marginais de produção de curto prazo (Hogan, 1993).

O modelo de pool foi aplicado tanto na situação de monopólio como posteriormente no contexto de mercados liberalizados. Os mercados liberalizados organizados em pool de

energia são por isso fortemente inspirados no modelo de despacho óptimo, preservando o controlo centralizado do mercado na figura do operador de sistema. **O princípio fundamental dum mercado baseado em pool é a assunção que para um mesmo nível de carga o despacho óptimo (least-cost dispatch) e o despacho do mercado competitivo são idênticos (Hogan, 1993).**

Na prática, a pool aplicada no contexto de um mercado liberalizado apresenta duas diferenças fundamentais face à situação de monopólio.

Em primeiro lugar, enquanto no caso do monopólio o programa de optimização era conduzido a partir de informação de custo das diferentes unidades de produção conhecidas do monopolista, no caso de um mercado liberalizado a informação utilizada corresponde às licitações ao mercado apresentadas pelos agentes económicos participantes no mercado, com base num leilão estático. Em mercados liberalizados, a informação necessária para a resolução do problema de optimização do sistema é constituída em cada sessão de mercado através das licitações dos agentes económicos nele participantes.

Em segundo lugar, enquanto no caso do monopólio o preço da energia conforme o regime tarifário imposto ao monopolista é determinado em função dos custos médios de produção, num mercado liberalizado é utilizado o preço marginal de produção da última unidade de energia fornecida, conforme o modelo de preço uniforme. Introduce-se deste modo um regime de preços spot para a energia eléctrica, dependentes da hora do dia em que ocorre ou para que é programado o fornecimento<sup>2</sup>, reflectindo as condições de procura (nível de carga) e de oferta (a unidade marginal requerida para satisfazer esse nível de carga).

Uma pool obrigatória caracteriza-se pela resolução integrada dos mercados de energia, transporte e serviços de sistema, centralizada no operador de sistema. Corresponde a um

---

<sup>2</sup> Este tipo de comportamento era anteriormente emulado pelos tarifários que incluíam variações de tarifário em função do período do dia e do ano.

modelo de leilão estático, resolvido por um algoritmo, definindo as condições óptimas de utilização do sistema sujeitas às restrições de operação da rede (limites operacionais das linhas e transformadores), dos equipamentos de geração, incorporando ainda a aplicação de planos de contingência de acordo com as condições de operação da rede. O problema matemático associado tem como inputs de informação as ofertas ao mercado dos agentes económicos. Estas são formuladas em formatos específicos, contendo informação de preços / quantidade de energia como também informação relacionada com as características técnicas de operação dos equipamentos.

A resolução do problema fornece em simultâneo o programa óptimo de exploração do sistema e um preço (ou conjunto de preços), determinados como o preço sombra das restrições de equilíbrio de potência e das restrições de operação da rede. Como refere Wilson (1998), *a price in such a system is not a market clearing price in the usual sense that it equates demand and supply; rather, it is obtained as the shadow price on a system constraint in an optimisation program whose inputs include detailed operating specifications and purported cost data.*

Uma aproximação à resolução deste problema, ignorando perdas em transporte e resolução de congestionamentos, é representada de forma estilizada na figura 3.1. Esta representação é aquela que é na prática utilizada nas pools que determinam o preço de sistema em nó único. As ofertas dos produtores são agregadas por uma ordem de mérito de preço, estabelecendo a curva de oferta agregada. O mesmo procedimento é adoptado para as ofertas de distribuidores e retalhistas<sup>3</sup>, identificando a curva de procura agregada. O preço e quantidade de equilíbrio do sistema é definido pela intersecção das duas curvas. Trata-se por isso de um conceito muito familiar à teoria económica. Este preço é definido como o preço oferecido pela última unidade de produção que, de acordo com a ordem mérito definida, satisfaz a unidade marginal de consumo. Este preço é praticado para todos os agentes no mercado independentemente do preço que tenham licitado, conforme o modelo de preço uniforme.

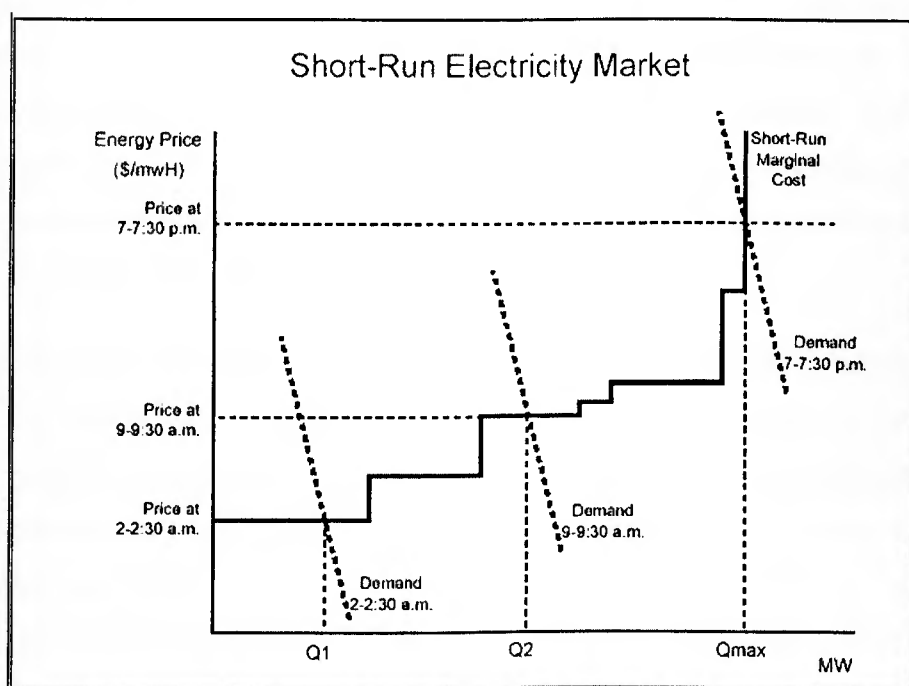
---

<sup>3</sup> Não existindo liberalização do retalho a procura é definida a partir de previsões de carga. Temos assim um curva de procura definida por uma recta vertical, perfeitamente inelástica.



O equilíbrio de mercado é definido para cada hora de cada dia, ajustando-se à variação da procura. Os preços variam em conformidade com os preços oferecidos pelas unidades marginais requeridas para satisfazer a última unidade de procura. Um mercado assente em preços spot tende a produzir variações dos preços de acordo com as condições de utilização do sistemas, conforme é exemplificado na figura 3.2.

**Figura 3.2 Determinação do preço de equilíbrio numa pool**



Fonte: Hogan, 1993

### 3.2.1. Formato de licitação numa pool

Os mercados eléctricos de muito curto prazo assentes em pools definem preços e quantidades para períodos horários ou semi-horários, ajustando-se à configuração prevista do diagrama de carga. Esta determinação poderá ser realizada de forma independente entre períodos. Dessa forma, quantidades, preços e tecnologias utilizadas variam ao longo do dia. Nessa medida, é requerido aos agentes que formulem as suas licitações preço/quantidade para cada período de programação do despacho. O formato de licitação joga um papel importante na forma como os

agentes participantes no mercado definem os seus perfis de produção/carga ao longo de um dia.

O facto do equilíbrio de mercado ser obtido numa única iteração coloca exigências particulares na forma como é realizada a licitação. Por um lado, o carácter estático do leilão exige que as ofertas de compra e venda sejam formuladas em termos de curvas de oferta e de procura. Doutra forma realizar o encontro entre oferta e procura poderá ser impossível. Por outro lado, sendo o equilíbrio formulado para cada período horário ou semi-horário de forma independente entre períodos coloca problemas à exploração económica de determinados equipamentos, em particular as centrais térmicas. Uma central térmica exhibe custos de arranque significativos e elevada inércia na capacidade de alterar a sua produção, pelo que em ordem a ser rentável a sua exploração tem que funcionar um número mínimo de horas para recuperar os custos de arranque <sup>4</sup>.

Para obviar este tipo de problemas são incluídas cláusulas específicas no processo de licitação, podendo ser identificados vários tipos de solução: no leilão aplicado na antiga Pool de Inglaterra e Gales era permitido aos agentes submeterem até 6 licitações diferentes para cada unidade de geração num mesmo dia (von der Fehr et al., 1998) ( ((i) a start up rate (£); (ii) a 'no load heat' rate (£/hr); (iii) 3 'incremental heat' rates (£/MWh); and (iv) a 'maxgen' price (£/MWh)); no leilão aplicado na Pool de Espanha aos agentes produtores é oferecido o direito

---

<sup>4</sup> As centrais hidro-eléctricas e as centrais de peak load adaptam-se melhor a um leilão estritamente horário na medida que têm elevada flexibilidade produtiva e baixos custos de arranque. Acrescenta-se, no caso das centrais hidro-eléctricas, um conjunto de restrições de funcionamento associadas à gestão das reservas hídricas, que justificam a preferência por uma gestão diferenciada ao longo do dia da capacidade de produção utilizada, por exemplo: a necessidade de respeitar caudais ecológicos mínimos e máximos; a capacidade limitada de armazenamento de reservas hídricas, colocando a questão do custo de oportunidade da utilização dos recursos; a variação sazonal das reservas hídricas disponíveis; períodos de paragem no caso das centrais de bombagem.

de reclamar nas suas licitações cláusulas de rendimento mínimo; noutros mercados, como no Nordpool, aos agentes é oferecida a possibilidade das licitações serem formuladas para blocos de horas e não para cada hora – sendo aceites ofertas para blocos de horas o processo de determinação do equilíbrio para cada período deixa assim de ser independente entre períodos.

Justificam-se ainda neste contexto os pagamentos de capacidade praticados nos leilões das pools de Inglaterra e Gales e de Espanha. Estes pagamentos, acrescendo ao preço de equilíbrio pago a todos os agentes, têm por função recompensar as firmas pelo facto de oferecerem capacidade produtiva e “segurança de abastecimento”. Desta forma é possível compensar os custos fixos não recuperados directamente através do mercado, como acontece quando os agentes económicos não conseguem assegurar factores de utilização suficientemente elevados dos seus equipamentos produtivos.

Os leilões estáticos exibem deste modo processos de licitação bastante complexos. A formulação das ofertas obedece a regras rígidas, compreendendo, nomeadamente: a existência de ofertas para cada equipamento produtivo; a identificação das condições económicas da oferta; a identificação de cláusulas específicas; as características técnicas de funcionamento do equipamento (capacidades máxima e mínima, gradientes de subida de potência, etc.). Trata-se de informação essencial para o operador de mercado correr o algoritmo que preside à determinação do equilíbrio de mercado e das quantidades de produção afectas a cada equipamento.

### **3.2.2. Modelos de Pool**

No âmbito daquilo que se designa por pool é possível enquadrar diferentes modelos específicos. Uma primeira distinção existe entre pool obrigatória e pool voluntária. A pool obrigatória determina que todas as transacções físicas de energia devem ser obrigatoriamente conduzidas pela pool. Definida nestes moldes, a pool preserva o controlo centralizado de todo o sistema, com as vantagens em termos de eficiência de curto de prazo e acesso não discriminado ao mercado por parte de produtores independentes (sendo salvaguardada a independência do operador de sistema). Este formato de pool demonstrou-se, contudo, pouco adaptado à contratação de longo prazo, situação que se reflectiu nas condições para a promoção da eficiência de longo prazo. Na pool não obrigatória, ao contrário do modelo

anterior, a participação dos agentes é voluntária e permite formas de contratação bilateral física (mais adaptadas à contratação de longo prazo), embora preservando as características do leilão associado à pool. A evolução para uma pool não obrigatória obriga contudo à adopção de mercados de transporte consistentes com os mecanismos de preço eficientes adoptados no seio da pool.

Um segunda distinção prende-se com os métodos de resolução de congestionamentos desenvolvidos no âmbito da pool, os quais definem condições bastante diferenciadas para o desenvolvimento do mercado de capacidade de transporte. Nos próximos pontos far-se-á um breve percurso sobre estes métodos e sobre as consequências em termos do processo de formação dos preços de energia e preços de capacidade transporte associadas a cada método específico de resolução de congestionamentos.

### ***POOL - Nodal prices***

*With this perspective, the work of Schweppe et al. develops the theory of spot pricing that respects the particular conditions of electric power transmission systems. Efficient short-run prices are consistent with economic dispatch, and in principle short-run equilibrium in a competitive market would reproduce both these prices and the associated power flows. (Hogan, 1992)*

*Locational Marginal Pricing (LMP): A computer program pretending to be a market. (ELCON – The Electricity Consumers Resource Council, 2000)*

A organização de pools baseadas em nodal prices decorre dos contributos teóricos de Schweppe et al (1984), que propõem o conceito de nodal price para operacionalizar um sistema de preços spot baseado no despacho óptimo sujeito aos limites técnicos da rede.

O conceito de nodal price avançado por Schweppe et al em 1984, no artigo *Optimal Pricing in electrical networks over space and time*, propõe o desenvolvimento de um spot market baseado no despacho óptimo (least-cost dispatch), assente numa pool, à época enquadrado no contexto de monopólio. A proposta de Schweppe rompe com o modelo até então vigente, em que os custos de transporte dependiam de tarifários baseados na distância contratual

percorrida. Como Schewppe<sup>5</sup> et al. demonstram, *optimal spot prices could be obtained as a byproduct of economic dispatch and real-time spot pricing could be used to control the network*. O *nodal price* corresponde ao preço sombra do problema de despacho óptimo e é definido como o custo de fornecer marginalmente uma unidade de potência numa localização específica da rede (um nó) usando a unidade de produção mais barata entre todas as unidades de produção disponíveis observando os limites de capacidade de transporte.

No problema de despacho óptimo proposto por Schewppe et al (1984), o objectivo do operador de sistema/de mercado será, identificadas as curvas de procura e de oferta em cada nó de rede, definir o equilíbrio de mercado de tal forma que maximize o bem estar / excedente global, sujeito às restrições de equilíbrio de potência, de limites de capacidade de transporte e de limites máximos e mínimos a respeitar por cada unidade de produção. O problema pode ser interpretado como um problema de minimização ou maximização. Se a procura for meramente uma previsão (estática) então temos um problema de minimização de custos. Se pelo contrário a procura for sensível ao preço, consentâneo com o modelo em que exista a liberalização do retalho, o problema é de maximização do excedente global. Caracteriza-se a seguir este problema, seguindo a representação utilizada por Leautier (1999), baseada na aproximação em corrente contínua dos fluxos de potência numa rede. Esta representação tem como particularidade garantir convexidade da função objectivo a otimizar, propriedade que permite inferir que os pontos óptimos obtidos sejam pontos óptimos globais.

Designando por  $CS_n$  o excedente da procura dos consumidores no nó  $n$  e  $C_n$  a função de custos de produção submetida pelos produtores estabelecidos no nó  $n$ , o problema optimização do excedente global numa rede composta por  $N$  nós é expresso na seguinte função objectivo (Léautier, 1999):

$$\max_{q_n^s, q_n^d} \sum_{i=1}^N \{CS_n(q_n^s) - C_n(q_n^d)\} \quad (1)$$

---

<sup>5</sup> Citado por Hogan (1993)

s.a.

$$\sum_{i=1}^N (q_n^s - q_n^d) = L(\underline{q}) \quad (2)$$

$$\left| \sum_{i=1}^{N-1} H_{ln} \cdot q_n \right| \leq K_l \quad (3)$$

De acordo com a aproximação em corrente contínua, a função de perdas e as inequações de limites de capacidade de transporte podem ser definidas em função do vector de potência injectada na rede  $\underline{q} \in \mathbb{R}^{N-1}$ , na medida que existem apenas N-1 injeções independentes de potência. As restrições de equilíbrio de potência e de limites máximos de capacidade de transporte tomam então a forma identificada nas equações (2) e (3) (ver Anexo 1). A restrição de equilíbrio de potência define que em cada momento a potência injectada na rede – o somatório da potência injectada em cada nó ( $q_n^s$ )– deve ser igual ao consumo na rede – o somatório do consumo em cada nó ( $q_n^d$ ), mais as perdas em transporte, definidas em função do vector  $\underline{q}$ , conforme a representação em corrente contínua. A restrição de capacidade de transporte define que a potência que flui em cada linha deve encontrar-se dentro dos limites operacionais para esta estabelecidos. Esta restrição representa o fluxo de potência em cada linha em função da potência líquida  $q_n = q_n^s - q_n^d$  injectada em cada nó. O termo  $H_{ln}$  representa a forma como se reparte na rede o fluxo de potência injectado no nó n, sendo designado usualmente como *power distribution factor*.

A estas restrições adicionam-se os limites máximos e mínimos que cada unidade de produção deverá respeitar. Por simplificação, no exemplo apresentado, omitiu-se esta restrição.

A lagrangeana resultante, denotando  $\mu_e$  como o preço sombra da restrição de equilíbrio de potência (uma restrição) e  $\eta_l$  o preço sombra da restrição de capacidade de transporte na linha l (L restrições), é então:

$$L(q^s, q^d, \mu_e, \eta_l) = \sum_{n=1}^{N-1} [CS_n(q_n^d) - C_n(q_n^s)] + \mu_e \left[ \sum_{n=1}^N (q_n^s - q_n^d) - L(\underline{q}) \right] - \sum_{l=1}^L \eta_l \left( \sum_{n=1}^{N-1} H_{ln} \times q_n - K_l \right)$$

As condições de Karush-Kuhn-Tucker deste problema são:

Para os nós de  $1 \leq n \leq N-1$  temos que,

$$\frac{\partial L}{\partial q_n^s} = -C'_n(q_n^s) + \mu_e \left(1 - \frac{\partial L}{\partial q_n^d}\right) - \sum_{l=1}^L \eta_l H_{ln} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_n^d} = -CS'_n(q_n^d) + \mu_e \left(1 - \frac{\partial L}{\partial q_n^s}\right) - \sum_{l=1}^L \eta_l H_{ln} = 0 \quad (5)$$

No nó N, escolhido arbitrariamente, designado por *swing node*, as condições de primeira ordem são:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial q_N^s} &= -C'_N(q_N^s) + \mu_e = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial q_N^d} &= -CS'_N(q_N^d) + \mu_e = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

Como  $\underline{q} \in \mathbb{R}^{N-1}$ , as componentes relativamente à função de perdas em transporte ( $L(\underline{q})$ ) e às restrições de limites de capacidade de transporte anulam-se nas derivadas parciais de  $q_N^d$  e  $q_N^s$ . No nó N é assim determinada a quantidade de energia que deverá satisfazer o equilíbrio de potência no sistema, como combinação linear das injeções de potência nos restantes nós. O preço sombra da restrição de equilíbrio de potência – o preço de sistema  $\mu_e$ , é assim determinado no nó N.

As derivadas em relação aos multiplicadores são:

$$\sum_{i=1}^N (q_i^s - q_i^d) = L(\underline{q}) \quad (7)$$

E para as linhas  $1 \leq l \leq L$

$$\eta_l = \left( \sum_{n=1}^{N-1} H_{ln} \times q_n - K_l \right) = 0 \quad (8)$$

Da condição (6) resulta que em cada nó o custo marginal da última unidade de energia fornecida iguala a derivada do excedente marginal do consumo – o preço do nó, expresso na condição (9). Este preço é partilhado pelos produtores e consumidores estabelecidos em cada nó. Utilizando esta equivalência as equações (4) e (5) sintetizam-se na equação (10).

O vector óptimo que satisfaz as condições de primeira ordem  $(\mathbf{q}^s, \mathbf{q}^d, \mu_e, \boldsymbol{\eta})$  será então tal que:

$$\rho_n = C'_n(q_n^{s*}) = CS'(q_n^{d*}) \quad (9)$$

$$\rho_n = \mu_e \left( 1 - \frac{\partial L}{\partial q_n} \right) - \sum_{l=1}^L H_{ln} \eta_l \quad (10)$$

A assunção de convexidade da função objectivo implica que as condições de segunda ordem são satisfeitas. A interpretação da equação (10) permite identificar três componentes do preço num determinado nó: o preço de sistema da energia  $\mu_e$ ; menos o custo relacionado com as perdas em transporte gerado pelo consumo/produção no nó; menos o custo relacionado com o congestionamento gerado pelo consumo/produção nesse nó. As diferenças de preço entre nós justificam-se assim nos níveis de congestionamento e de perdas específicos a diferentes pontos da rede. Essa diferença corresponde exactamente ao preço sombra do transporte de energia entre nós. O preço da energia é partilhado por todos os agentes enquanto o preço sombra do congestionamento é específico a cada nó. O presente problema resolve desta forma o mercado de energia e o mercado de transporte de forma integrada.

Na ausência de congestionamento, ou seja, se nenhuma das linhas for utilizada na sua capacidade máxima, o preço sombra do congestionamento é nulo. Ignorando perdas em transporte o preço em cada nó coincide com preço de sistema. Aplica-se desse modo um preço uniforme, cujo método de cálculo é o expresso graficamente na figura 3.2 (a intersecção entre as curvas agregadas de oferta e procura define o preço de sistema; matematicamente tal é equivalente a resolver o problema acima apresentado ignorando as restrições de capacidade de transporte e as perdas em transporte, como se a rede tivesse um único nó). Pelo contrário,



existindo congestionamentos tal significa que as fontes de energia mais baratas não podem chegar a todos os pontos da rede, tendo que ser substituídas por fontes mais caras localizadas em determinados pontos (Green, 1998). Como implica a condição (9), tal significa que em cada nó o preço nodal reflecte o custo marginal da produção que satisfaz esse nó.

A resolução do problema a partir de nodal prices gera um saldo de transacção positivo que reverte para o operador de sistema. Este saldo tem origem no facto do operador de sistema comprar energia nos nós mais baratos ao preço desses nós e exportá-la, para os nós mais caros, vendendo-a ao preço desses outros nós. Este saldo define a renda associada ao congestionamento, apropriada pelo operador de sistema.

O modelo de pool baseada em despacho óptimo segundo *nodal prices* é tido consensualmente como o método que maximiza o bem estar global e que promove a utilização eficiente dos meios produtivos. É aplicado sobretudo nos Estados Unidos embora segundo diferentes variantes. As diferentes variantes distinguem-se quanto à aplicação do modelo segundo nós (a forma original) ou segundo zonas (agregação de nós) e quanto ao tipo de contratos de transporte utilizados para efeitos da realização da contratação bilateral física.

### *Nós versus Zonas*

A adopção de zonas em vez de nós corresponde a uma simplificação do modelo no sentido de torná-lo mais transparente aos agentes económicos. Os custos de transacção associados a um sistema de nodal prices tendem a ser significativos pelo número elevado de preços que este modelo produz (que poderão ser na ordem das centenas). Acrescenta-se que poderão subsistir grandes diferenças de preço entre *nodal prices*, associado à forma como estão distribuídos a carga e as tecnologias de produção num determinado sistema. Por exemplo, entre um nó em que a unidade marginal de consumo é satisfeita por uma central de turbina (tipicamente uma central de peak load) e um nó em que a unidade marginal de consumo é satisfeita por uma central hidroeléctrica poderão subsistir diferenças superiores a 100%. Diferenças de preços desta ordem podem tornar-se difíceis de explicar em termos sociais. Trata-se por isso de um sistema de entendimento complexo e susceptível à contestação tanto por parte de associações de consumidores como de produtores. A simplificação da aplicação do modelo constitui por isso uma forma de facilitar a sua aceitação.

A opção por uma simplificação do sistema pode evitar estes tipo de problemas contudo poderá introduzir outros, sendo geralmente o que acontece com a adopção de um sistema zonal para o tratamento dos congestionamentos.

Em primeiro lugar, a adopção de zonas induz necessariamente uma redução do bem estar global. No fundo, é imposto a um leque mais alargado de consumidores o preço mais alto que é possível observar num sistema de preços nodais. Quanto maior a agregação em zonas maior a redução do bem estar global. A redução de bem estar é maior num sistema de nó único em que o equilíbrio de mercado é determinado com base numa única zona.

Em segundo lugar, como demonstra Stoft (1996, 1997), numa rede malhada a divisão em zonas não é geralmente um processo óbvio. A divisão em zonas é normalmente sustentada em diferenças de preços entre nós, na medida que estes reflectem as condições de congestionamento. A divisão em zonas é por isso usualmente sustentada em métodos estatísticos utilizando como critério o desvio padrão da distribuição de preços nodais (Walton e Tabords, 1997<sup>6</sup>). A aplicação deste tipo de métodos tem contudo como consequência que (i) as zonas poderão ser não contíguas e (ii) a definição de zonas ser variável em função da evolução natural dos preços nodais ao longo do ano. Hogan (2001), utilizando como exemplo o PJM salienta que o número de zonas adoptadas em função da distribuição dos preços nodais é muito variável – entre 22 zonas a 210 zonas no período 1999-2000. A instabilidade da definição das zonas introduz uma complexidade adicional ao funcionamento do mercado de transporte. Os agentes económicos tendem a preferir a definição de zonas estáveis. Contudo, requerendo a definição de zonas estáveis tem normalmente como consequência um número muito elevado de zonas o que traduzir-se-ia num nível de simplificação muito reduzida do sistema (Hogan, 2001).

Bjorndal e Jornsten (2001) acrescentam que a divisão em zonas gera transferências de bem estar significativas. A partir de exemplos teóricos de redes estes autores demonstram que a divisão óptima em zonas para o operador de sistema (em função da renda de congestionamento por este apropriada) é geralmente distinta da divisão óptima para produtores

---

<sup>6</sup> citado por Bjorndal e Jornsten, 2001

e consumidores. Por outro lado verificam que a divisão em zonas utilizando o critério de diferenças entre preços nodais geralmente não é óptima do ponto de vista do bem estar global.

Um sistema de zonas tende também a produzir distorções no sistema de preços, oferecendo sinais de preço ambíguos, nomeadamente para a localização de novos investimentos em equipamentos de geração (Hogan, 2001).

Em virtude das deficiências apontadas, em particular no desenvolvimento do mercado de transporte, em alguns sistemas os mecanismos de *zonal pricing* foram abandonados. Foram os casos dos mercados PJM, em 1997, e New England, (2000), ambos nos Estados Unidos.

### *Contratos de transporte para a contratação bilateral física*

Num modelo de pool voluntária assente em preços nodais ou zonais é admitida a contratação bilateral física. Neste caso, consistente com o modelo de preços nodais, os custos de congestionamento são pagos explicitamente sendo o custo de transporte definido como a diferença entre preços nodais no sentido fonte / carga na ligação utilizada. Quando um agente opta pela contratação bilateral física paga explicitamente o custo de transporte ao invés da situação em que despacha a produção pelo mercado diário, em que esse pagamento está implicitamente definido no preço nodal. Diariamente, para cada hora, os agentes envolvidos em contratos bilaterais físicos pagam este custo. Os agentes que optam pela contratualização bilateral física definem um preço de energia para um período mais ou menos longo mas enfrentam custos de transporte definidos no muito curto prazo. Ao perfil estável de cash-flows proveniente do contrato de energia contrapõe-se um perfil de custos voláteis para os custos de transporte, sendo as diferenças de preços nodais variáveis em função das condições de congestionamento. A volatilidade dos custos de transporte de curto prazo suscitam a procura por agentes com aversão ao risco de contratos financeiros que permitam cobrir este tipo de risco. Os princípios básicos para o funcionamento de um mercado de contratos financeiros com esta função foram propostos por Hogan em 1993 no artigo *Contract Networks for Electrical Transmission*.

O direito financeiro de transporte é um instrumento financeiro adquirido em leilão organizado pelo operador de sistema e susceptível de ser transaccionado em mercados secundários. Ao

direito associa-se uma reserva de uma determinada quantidade de transporte. Este tipo de contrato tem as seguintes características:

- É um instrumento que permite cobrir o risco associado à volatilidade das diferenças entre preços nodais da ligação utilizada na contratualização bilateral física. Uma vez adquirido um direito financeiro de transporte o seu titular tem direito a receber a renda de congestionamento associada à diferença entre os dois preços nodais. O preço pago em leilão ou no mercado secundário pelo direito define um preço firme pela utilização da rede de transporte em transacções bilaterais físicas para o período contratualizado.
- Os direitos podem ser definidos para diferentes horizontes temporais – dia, semana, mês, ano ou maior.
- O direito financeiro de transporte define-se como um contrato financeiro de diferenças entre dois preços nodais independente do fornecimento físico. Este tipo de contrato não confere ao seu titular um direito físico de utilizar essa ligação. Nessa medida preserva os princípios de despacho centralizado. No caso do detentor do direito ser impedido de utilizar a rede (por exemplo, quando se define um congestionamento), o rendimento recebido através do contrato de direito financeiro deixa-o indiferente entre produzir na fonte ou satisfazer a sua obrigação contratual na carga adquirindo energia ao preço nodal vigente.
- O direito financeiro de transporte pode ter um valor negativo. Se o preço na fonte for superior ao na carga, o valor do custo de transporte é negativo. Nessa medida, o detentor do direito de transporte paga ao operador de sistema em vez de receber.

### ***POOL – Market-Splitting***

O market splitting é o método de resolução de congestionamentos aplicado no Nordpool. Consiste na definição de equilíbrios separados (par preço/quantidade) por zonas de rede como forma de aliviar o congestionamento nas ligações afectadas. Aproxima-se do modelo de nodal prices mas em vez de nós utiliza zonas, combinando-se ainda com aplicação de métodos como

o redespacho ou counter-trading. Os princípios subjacentes à aplicação deste sistema são (ETSO, 2001):

- toda a transacção física entre sistemas/zonas é conduzida pela pool (com regras aceites por todas as partes);
- existe apenas uma pool que gere as transacções físicas de energia entre áreas;
- as zonas são definidas de forma estável, o que implica que os congestionamentos são definidos apenas entre zonas;
- todas as restrições de transporte localizam-se na interconecção entre zonas;
- existe reduzida interdependência na determinação da capacidade líquida de transporte entre zonas<sup>7</sup>, permitindo que estas sejam calculadas antecipadamente;
- as restrições de capacidade de transporte no seio de cada zona são geridas como restrições nas interligações ou geridas por cada operador de sistema através de redespacho.

Esta metodologia funciona aproximadamente do seguinte modo, (seguindo a apresentação desenvolvida por Bjorndal et al, 2001):

- 1) A partir das ofertas de compra e de venda são identificadas as curvas de oferta e procura e identificado o equilíbrio de mercado ignorando as restrições de rede. Obtém-se deste modo um preço de sistema  $p$ .
- 2) Se os limites técnicos da rede são respeitados o equilíbrio apurado em 1) é válido para toda a rede, vigorando um regime de preço uniforme. Se as quantidades escalonadas de produção e de procura geram congestionamentos em determinadas linhas, a rede é dividida em zonas, compostas por um ou mais nós.
- 3) Considerando o caso em que se definem duas zonas, a zona com excesso de oferta (nessa zona a produção é superior à procura) é considerada como a zona de preço baixo e a zona com excesso de procura (nessa zona a procura é superior à produção) é

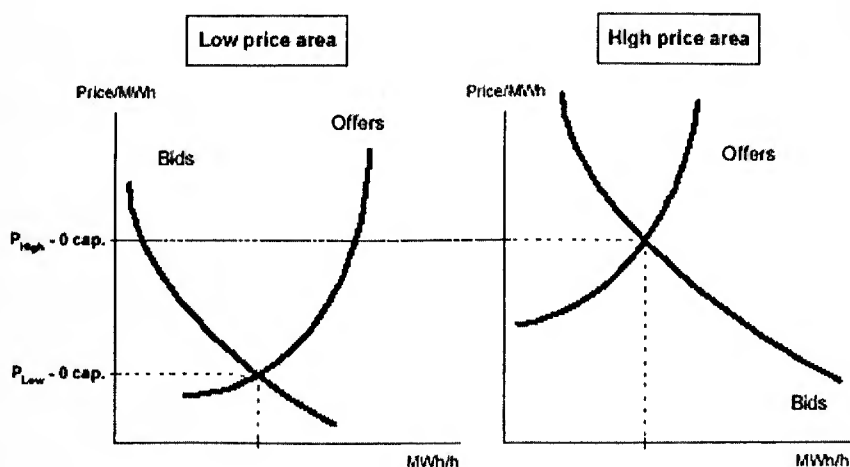
---

<sup>7</sup> a configuração radial da interligação entre sistemas nacionais no Nordpool limita a ocorrência de fenómenos de fluxo paralelo

considerada de preço alto. (ver figura 3.3) Os preços sem transporte de energia entre áreas seriam equivalentes a  $P_{L(Cap=0)}$  e  $P_{H(Cap=0)}$ .

- 4) É identificada a capacidade de transporte entre as duas zonas.
- 5) O equilíbrio de mercado é determinado de forma separada para cada zona, tendo em conta as curvas de procura e oferta em cada zona e a capacidade de transporte existente entre as duas zonas. Da zona com excesso de produção é exportada energia para a zona com excesso de procura, dentro dos limites de capacidade de transporte definidos. O comércio entre zonas é equivalente a aumentar a oferta na zona de preço alto (zona de excesso de procura) e a aumentar a procura na zona de preço baixo (zona de excesso de oferta), conforme exemplificado na figura 3.4. Os preços assim determinados, resultam em  $P_L$  e  $P_H$  (ver figura 3.5). A existência de capacidade de transporte atenua as diferenças entre os preços das duas zonas. Se mesmo assim novos limites de capacidade forem violados o processo seria repetido do passo 2, dividindo o sistema em mais zonas.
- 6) Um sistema de market splitting gera um rendimento para o operador de sistema na proporção da dimensão do congestionamento. Este rendimento deriva do facto da energia exportada da zona de baixo preço ser paga a  $P_L$  e cobrada a  $P_H$  na zona de preço alto. Este rendimento é avaliado na diferença de preços entre as duas zonas multiplicada pelo total de energia exportada.

**Figura 3.3 Equilíbrio em cada zona sem transacção entre áreas**

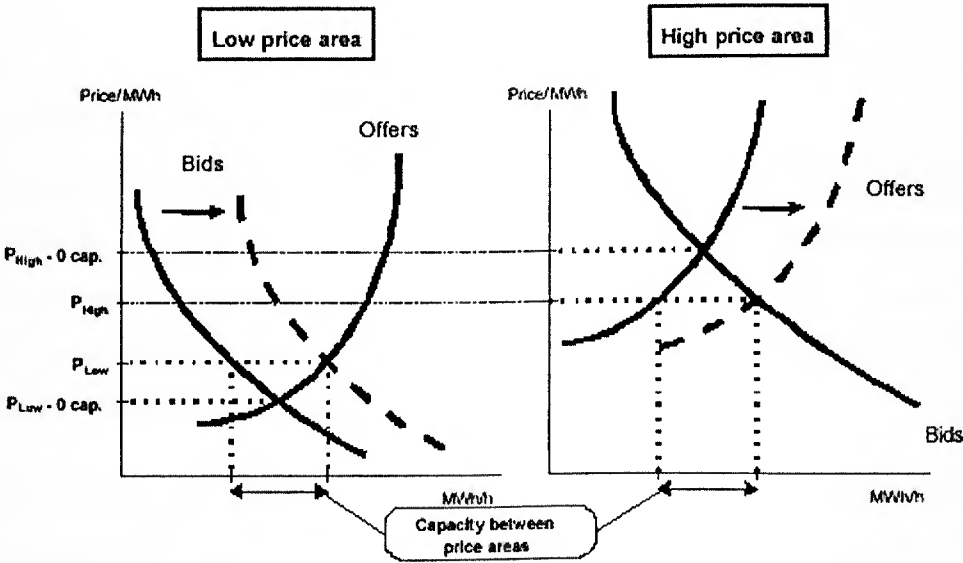


Fonte: ETSO, 2001

A interpretação dos preços face ao congestionamentos é determinada pela comparação entre os preços apurados em 5) e os preços apurados em 1). Esta análise pode ser realizada sobre dois pontos de vista: o dos produtores e o dos consumidores.

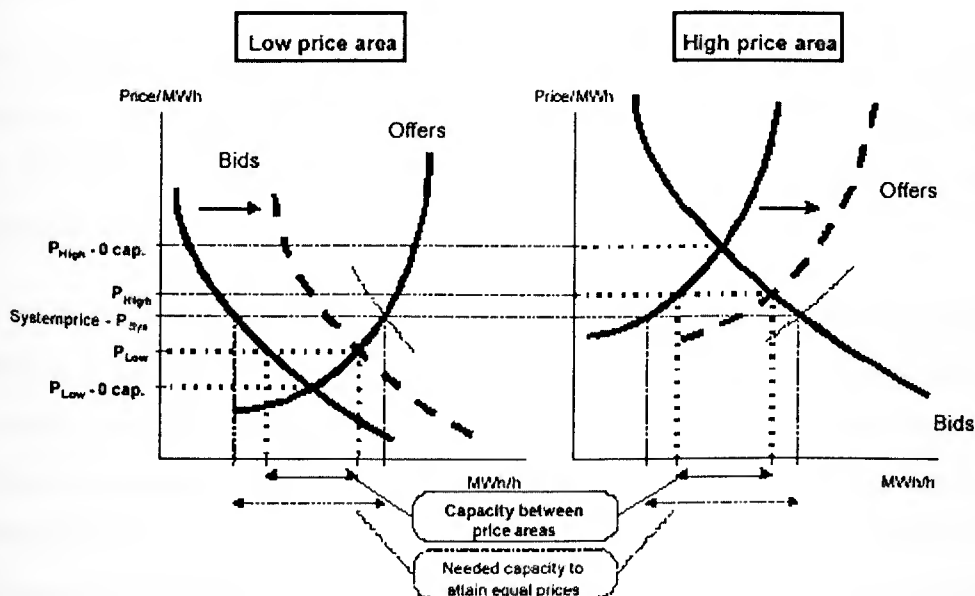
O preço pago aos produtores na zona de preço baixo ( $P_L < P$ ) é inferior ao que seria pago na ausência de congestionamentos; inversamente, na zona de preço alto os produtores recebem um preço mais alto do que obteriam caso não existisse congestionamento ( $P < P_H$ ). Os produtores estabelecidos na zona de preço baixo são por isso penalizados na ocorrência de congestionamentos. Esta penalização decorre do seu papel na definição de congestionamentos: ao oferecerem preços mais baixos tendem a produzir mais e dessa forma a contribuir para a formação de congestionamentos em determinadas ligações.

Figura 3.4 Equilíbrio em cada zona com transacções entre zonas



Fonte: ETSO, 2001

**Figura 3.5 Capacidade de transporte necessária para atingir preços idênticos nas duas zonas**



Fonte: ETSO, 2001

Sob o ponto de vista dos consumidores a interpretação é exactamente a oposta. Quanto mais os consumidores na zona de preço baixo consumirem mais contribuirão para aliviar o congestionamento, na medida que tendem a anular o excesso de oferta nessa zona. Nessa medida, o mecanismo de preços tende a favorecer estes consumidores. O oposto acontece com os consumidores na zona de preço alto.

Este é um método particularmente adaptado a sistemas interligados de forma radial como é o caso do Nordpool. Esta configuração da interligação favorece maior transparência à aplicação deste método na medida que facilita a identificação das zonas e reduz os fenómenos de fluxos paralelos, tornando mais simples a determinação da capacidade de transporte entre sistemas/zonas. Quanto maior o número de zonas consideradas mais complexo se torna a aplicação do princípio acima descrito para duas zonas. Não se trata por isso de um sistema de aplicação simples em sistemas interconectados com uma densidade de ligações significativa.



Este método de resolução de congestionamentos tem como principal desvantagem o facto de exigir o controlo total das interligações por parte do operador de sistema. Não permite deste modo a contratação bilateral física através das interligações.

No Nordpool, o market splitting foi inicialmente aplicado com uma definição de zonas variáveis – definidas de acordo com a ocorrência e localização do congestionamento. A partir de 2000, o zonamento passou a ser definido de acordo com as fronteiras de actuação de cada operador de sistema integrado no âmbito do Nordpool.

A aplicação de um zonamento fixo tem como contrapartida o facto do market splitting não resolver a totalidade dos congestionamentos, na medida que esta metodologia é aplicada somente entre zonas e não no seio de cada zona fixa. Em cada zona os potenciais congestionamentos têm que ser resolvidos por outros métodos. A escolha do método mais adequado a aplicar no seio de cada zona fica ao critério do respectivo operador de sistema. Na Dinamarca, Finlândia e Suécia são aplicados mecanismos de counter-trading enquanto na Noruega é aplicado um sistema de market-splitting. Esta situação é normalmente geradora de potenciais arbitrariedades, na medida que em determinadas zonas dos sistemas domésticos um congestionamento poder ser resolvido internamente através de redespacho/counter trading ou, em contrapartida, ser transformando num congestionamento entre sistemas. Na realidade, a opção por uma ou outra forma de resolução do congestionamento não é neutra do ponto de vista do bem estar.

Um zonamento fixo permite uma aplicação mais rigorosa dos instrumentos de gestão do risco, nomeadamente os contratos por diferenças relativamente aos preços spot. Com efeito, num sistema de zonamento variável, os contratos por diferenças, na ausência de previsibilidade perfeita quanto à ocorrência e localização dos congestionamentos, são realizados contra o preço de sistema. Num sistema de zonamento fixo é permitido que os contratos por diferença sejam firmados contra preços específicos às zonas de congestionamento, aqueles efectivamente enfrentados pelos agentes participantes no mercado.

Existem algumas semelhanças entre o modelo de market-splitting e o modelo de nodal prices. Ambos determinam preços específicos em função de zonas/nós, possuem mecanismos de penalização idênticos e geram para o operador de sistema rendas de congestionamento. A

principal diferença reside no facto de num sistema de market splitting com zonas fixas serem adoptados complementarmente outros métodos de resolução de congestionamentos.

### ***Pool - Redespacho / Counter - Trading***

Redespacho e counter trading são métodos associados a mercados que determinam preços únicos para toda a rede, independentemente das condições de utilização da rede e da localização dos congestionamentos. Este método designa-se usualmente como a formulação do equilíbrio em nó único.

Num modelo de pool que utilize um método de determinação do equilíbrio preço-quantidade em nó único as transacções são definidas em duas iterações.

A primeira iteração corresponde à determinação do equilíbrio do sistema definido pela intersecção das curvas de procura agregada e de oferta agregada. Este equilíbrio é realizado nas sessões do mercado do dia/hora seguinte, para cada período horário ou semi-horário, conforme o modelo instituído. O equilíbrio assim definido estabelece um despacho do sistema que ignora as restrições técnicas de operação da rede. Desta forma poderão existir transacções que violam os limites operacionais da rede em determinadas ligações. Caso não existam violações o despacho assim determinado é válido para ser aplicado. Caso existam violações, o despacho assim definido terá que ser corrigido no sentido que as condições de segurança da rede sejam satisfeitas.

A segunda iteração corresponde à correcção do despacho, a cargo do operador de sistema, que poderá ser realizado nas modalidades de redespacho ou counter-trading. Ambos os métodos têm subjacente a identificação de zonas exportadoras e zonas importadoras em torno das ligações potencialmente congestionadas. O princípio básico que preside a ambos os métodos consiste em substituir produção na zona exportadora por produção na zona importadora por forma a reduzir o fluxo de energia entre as duas zonas. Esta substituição dá-se até os fluxos de energia entre as duas áreas se encontrarem dentro dos limites operacionais na ligação afectada. O que distingue ambos os métodos são os critérios utilizados pelo operador de sistema para realizar esta substituição.

Em mercados baseados em pools voluntárias o despacho do sistema é definido conjuntamente pelas transacções estabelecidas nos mercados de dia seguinte e pelas transacções bilaterais físicas comunicadas ao operador de sistema. Os métodos de resolução de congestionamentos acima referidos incidem prioritariamente sobre as transacções estabelecidas nos mercados do dia seguinte. Oferece-se deste modo um enquadramento estável aos agentes que optem pela contratação bilateral física.

No **redespacho** a intervenção do operador de sistema baseia-se nas ofertas de preço apresentadas pelos agentes económicos na sessão do mercado do dia seguinte. O operador de sistema corrige o despacho inicial substituindo a oferta mais cara despachada na zona exportadora pela oferta mais barata não despachada na zona importadora. O preço da energia despachada através do redespacho é mais alto do que o preço de sistema. De outra forma essa energia teria sido despachada na primeira iteração do mercado. Contudo, o redespacho não interfere com o preço de sistema estabelecido na primeira iteração do mercado. O preço pago ao(s) produtor(es) chamado(s) para corrigir o congestionamento é fixado de acordo com a oferta por este(s) formulada na sessão do mercado do dia seguinte e os custos dessa energia são repercutidos de forma uniforme por todas as transacções, juntamente com os custos da energia fornecida em tempo real em desvio face ao programado. Em função do desenho específico adoptado para esta operação o produtor da zona exportadora cuja oferta foi retirada do despacho poderá receber ou não um pagamento compensatório. Esta compensação é avaliada na diferença entre o preço de sistema e o preço que licitou na sessão do mercado do dia seguinte.

A existência ou não de pagamentos compensatórios reveste-se de grande importância pelos incentivos que promove quando é admitida a contratação bilateral física. Com efeito, um agente produtor que se veja impedido de produzir com uma certa frequência derivado de congestionamentos terá incentivos a definir a sua produção a partir de contratações bilaterais físicas. Na medida que é oferecida a prioridade a estas transacções na resolução de congestionamentos, ao optar por esta via assegura a sua produção, mas contribuindo para que outros, que definem a sua produção através do mercado do dia seguinte sejam igualmente impedidos de produzir. A estes agentes é assim oferecido um incentivo idêntico, gerando um ciclo que em última análise pode retirar ao operador de sistema produção disponível para

despachar (Green, 1999). A dimensão deste tipo de fenómeno estará necessariamente correlacionado com a dimensão dos congestionamentos na rede. No caso do PJM em 1997, conforme analisado por Hogan, este tipo de fenómeno esteve na base da proibição da contratação bilateral física e na introdução de um sistema de nodal prices.

Em geral, a existência de congestionamentos com elevado grau de previsibilidade junto dos agentes que participam no mercado do dia seguinte permite a existência de comportamentos estratégicos. Estes ocorrem quando os agentes que participam no mercado reconhecem a sua insubstituibilidade para a correcção dos congestionamentos. Não se tratam de problemas específicos a um ou outro método de resolução de congestionamentos mas sim a todos. Os congestionamentos fragmentam o mercado e conferem poder de mercado localizado.

Na Pool de Inglaterra e Gales este tipo de comportamento foi observado por von de Fehr et al. (1998) e traduzia-se nas seguintes situações: centrais que eram previsivelmente chamadas para corrigir congestionamentos tendiam a licitar preços muito altos para maximizar os seus resultados; centrais que eram previsivelmente restringidas de produzir tendiam a licitar preços muito baixos, na medida que a sua compensação é definida na diferença entre o preço de sistema e o preço que licitaram.

No **counter trading** a intervenção do operador de sistema é desenrolada em tempo real utilizando como critério as ofertas de potência a descer e de potência a subir licitadas pelos agentes económicos. Neste contexto, o mercado de serviços de sistema, para além de assegurar o equilíbrio entre produção e consumo em tempo real tem também por função corrigir os congestionamentos. O princípio básico do counter trading é semelhante ao do redespacho. No sentido de corrigir os congestionamentos o operador de sistema selecciona, na zona exportadora, as ofertas de potência a descer, compensando de forma simétrica, na zona de importação, seleccionando ofertas de potência a subir. Este processo dá-se até restabelecer os fluxos de potência dentro dos limites operacionais das linhas. O custo desta operação equivale à diferença entre o preço a pagar pela oferta de potência a subir e o preço a receber pela oferta de potência a descer multiplicada pela quantidade de energia utilizada para resolver o congestionamento. Este tipo de solução tem por isso associado um pagamento compensatório aos produtores que são impedidos de produzir (parcialmente ou totalmente) quando ocorrem

congestionamentos, conforme visto no ponto 3.1.3 deste capítulo. Trata-se do tipo de solução utilizado nos sistemas da Dinamarca, Finlândia e Suécia.

Qualquer dos métodos analisados aplica-se em sistemas onde os problemas de congestionamento são diminutos. Na pool de Espanha os custos relacionados com a correcção do despacho situam-se entre 1% a 3% do preço diário de energia. Estes valores reflectem a dimensão dos congestionamentos presentes no sistema.

Qualquer dos métodos têm como principal vantagem o facto da realização da contratação bilateral física não exigir a aquisição de direitos de capacidade, tornando a compreensão do mercado eléctrico bastante mais simples. Trata-se do tipo de solução mais comum na maior parte dos sistemas nacionais na Europa.

### 3.3. Bolsa de Energia

O modelo de bolsa de energia realiza uma separação formal entre o mercado de energia e o mercado de transporte. Ao contrário de um modelo de pool, onde os métodos de congestionamento podem ser aplicados directamente na determinação dos preços e quantidades de equilíbrio, a bolsa de energia encontra-se apenas configurada para definir transacções de energia. Trata-se de um modelo de mercado assente na participação voluntária e em relações exclusivamente bilaterais.

Num mercado assente em bolsa de energia, ao contrário de um modelo de pool, praticam-se preços discriminados – *pay-as-bid*, conforme os *match* específicos realizados no mercado. O equilíbrio formulado para cada hora tem subjacente múltiplos preços definidos em torno de uma média. Ao contrário do modelo de pool, em que o operador de mercado/sistema define as quantidades a produzir por cada unidade de produção, numa bolsa de energia os agentes definem a sua produção em função da negociação realizada. Essa negociação processa-se de forma iterativa e com regras específicas, próximas daquelas que é possível observar nos mercados de títulos financeiros.

A bolsa de energia, comparativamente à pool, apresenta processos de licitação bastante simplificados. Em primeiro lugar, a licitação toma a forma de pares simples de quantidade – preço, sendo o encontro entre ofertas de venda e de compra realizado de forma sequencial e iterativa. Tem como principal vantagem relativamente a um leilão estático o facto de dispensar medidas ad-hoc para assegurar aos produtores a recuperação dos custos fixos (Wilson, 1998), na medida que estes podem incorporar estes custos nas suas ofertas. Na bolsa de energia aplicada a partir de 2002 em Inglaterra e Gales os pagamentos de capacidade foram abandonados. Como contrapartida este tipo de bolsa exige uma regulamentação que assegure responsabilização dos actores participantes em relação às ofertas formuladas, no sentido que o processo de descoberta dos preços seja fiável e que exista velocidade de convergência para o equilíbrio no processo iterativo que preside à negociação (Wilson, 1998).

Em segundo lugar, ao contrário dos leilões estáticos, em que é necessário associar licitações específicas a cada equipamento de geração, nas bolsas de energia esta associação não é obrigatória durante o período de negociação. Os agentes produtores têm a possibilidade de realizarem o que se designa por *portfolio bidding* (Wilson, 1998), alocando livremente entre as diferentes unidades/tecnologias que dispõem o volume de produção resultante das transacções firmadas em bolsa. A declaração ao operador de sistema dos níveis e períodos de produção alocados a cada unidade é apenas necessária aquando do fecho do período de negociação em bolsa, no sentido do operador de sistema avaliar a viabilidade das transacções definidas.

Os métodos de resolução de congestionamentos subjacentes a uma bolsa de energia são o counter-trading e os leilões explícitos de capacidade, que poderão ser utilizados de forma combinada quando se trate de um mercado de transporte assente em zonas. O counter trading trata-se de um método particularmente adequado para bolsas de energia por duas razões: (i) é uma solução baseada em mecanismos de mercado e (ii) evita a intervenção do operador de sistema sobre as transacções firmadas em bolsa, baseadas em matches específicos comprador vendedor. Corresponde ao método de resolução de congestionamento na bolsa de energia de Inglaterra e Gales desde 2002.

A operacionalização de um mercado bilateral, como uma bolsa, a partir de leilões explícitos de capacidade foi proposta por Chao e Peck (1997). A proposta destes autores consiste basicamente na definição de um mercado de transporte assente em direitos físicos de

transporte sobre as linhas utilizadas nas transacções bilaterais físicas. O valor desse direito reflecte necessariamente as condições de congestionamento. Esta opção é contudo de muito difícil operacionalização na medida que, dada a importância dos fluxos paralelos, cada transacção bilateral exigiria adquirir um número muito elevado de direitos físicos de transporte, tantos quanto as linhas utilizadas numa dada transacção. A discussão em torno da proposta inicial destes autores levou ao refinamento da sua concepção, proposto como o modelo de *flow-gates* – identificando apenas um número limitado de linhas sobre as quais seria necessário a aquisição de direitos físicos de transporte. Tal consiste basicamente na definição de zonas em torno das ligações potencialmente congestionadas.

Outro problema que assiste a um mercado puramente bilateral baseado em direitos físicos de transporte prende-se com a avaliação da quantidade de direitos susceptíveis de ser colocados no mercado de transporte. A ocorrência de fluxos paralelos e as condições muito variáveis que presidem à definição e ocorrência de congestionamentos dificultam esta avaliação, sobretudo quando os direitos físicos de transporte são definidos para horizontes temporais alargados. No fundo, é difícil de estabelecer qual a quantidade de direitos físicos de transporte susceptíveis de serem transaccionado; é difícil assegurar que estes direitos serão sempre satisfeitos.

### 3.4. Conclusões

Na transição para mercados eléctricos concorrenciais a arquitectura de mercado constituiu um dos aspectos centrais da discussão realizada. Múltiplas soluções foram formuladas, não existindo consenso sobre qual o desenho de mercado mais satisfatório. Com efeito, os mercados eléctricos estão ainda longe de serem definidos como entidades maduras, mesmo nos países que mais cedo avançaram para os processos de liberalização. Deste modo, conforme dita a experiência recente, o desenho de mercado é matéria que ainda está longe de estar estabilizada.

Os primeiros desenhos de mercado foram motivados pelo receio de que o mercado seria incapaz de assegurar a fiabilidade do fornecimento. Foram assim adoptados desenhos de mercado rígidos, com apertado controlo por parte do operador de sistema. Este foi o caso da

pool obrigatória, como visto, um modelo fortemente inspirado no modo de organização do despacho em contexto de monopólio.

Apesar de ser um modelo que assegura o acesso não discriminado ao mercado e garante a exploração da eficiência de curto prazo demonstrou-se pouco adaptado à contratação física de longo prazo, dada a rigidez de procedimentos e de formas contratuais praticadas. Impedidos de firmar contratos de longo prazo os produtores ficavam fortemente dependentes das estratégias formuladas nos mercados do dia seguinte para definir o nível de utilização dos seus equipamentos produtivos. Induzia-se assim um risco acrescido na exploração das centrais, que tinha como efeito potencial diminuir a propensão à realização de novos investimentos. No contexto de planeamento descentralizado da capacidade produtiva penalizava-se assim a promoção da eficiência de longo prazo. Como refere Hogan (1992):

*And the long-run market is the key to overall efficiency. The most important requirement is to provide the right incentives for location and construction of new generating facilities and new load centers. By comparison with the costs of poor choices on these major plant investment decisions, there would likely be small inefficiencies from any failure to adopt a perfect short-run transmission pricing model.*

*(...)Experience suggests that investors in long-lived, fixed facilities of the type and scale of major electric power plants will be reluctant to make commitments with no more than a promise of being allowed to participate in a short-term spot market for transmission services.*

A partir da pool obrigatória novas arquitecturas de mercado foram desenvolvidas, tendo como fundamento a possibilidade dos agentes económicos realizarem a contratação bilateral física e a participação no mercado formal de curto prazo ser um acto voluntário. Nos desenhos adoptados identificam-se claramente opções de compromisso, nomeadamente quanto ao grau de simplicidade e transparência dos procedimentos de negociação e quanto ao grau de controlo oferecido ao operador de sistema sobre as transacções. Confrontam-se, neste âmbito, os modelos de pool voluntária com a adopção de preços nodais, com os modelos de pool em nó único ou de bolsa de energia. As opções tomadas reflectem também considerações de carácter ideológico. A posição de Chao e Peck (1997) é clara deste ponto de vista:



*Obviously, a decentralized market mechanism, whenever feasible, is generally preferable to a centralized mechanism, for it fosters dynamic efficiency – innovation and discovery of new ways of using electricity.*

Dois aspectos ocupam actualmente a discussão em torno do desenho de mercado. Em primeiro lugar, os métodos de gestão de congestionamentos a adoptar antevendo os níveis crescente trocas de energia através das interligações. Trata-se de uma discussão que ocorre nos Estados Unidos e na Europa, neste caso no âmbito da criação mercado interno de energia. Pretende-se assim concretizar os benefícios de mercados alargados, que são nomeadamente (Newbery, 2002): alargar a disponibilidade de fontes primárias diminuindo a exposição a choques numa ou noutra fonte; reduzir os custos de gestão dos sistemas; obter perfis de carga dos sistemas mais estáveis; alargar a concorrência entre produtores energéticos à escala internacional, expondo os incumbentes originais, com o mercado doméstico anteriormente protegido, à concorrência num mercado alargado.

Em segundo lugar, as relações entre desenho de mercado e estrutura horizontal de mercado, promovendo a competição nos mercados eléctricos.

### ***Métodos de resolução de congestionamentos***

O aspecto crucial que distingue os diferentes modelos desenvolvidos consiste no desenho oferecido ao mercado de transporte, ligado aos mecanismos de resolução de congestionamentos adoptados no mercado formal. É possível identificar diferentes abordagens para resolver os problemas de externalidades subjacentes ao funcionamento de uma rede.

A abordagem mais simples é tratar o problema do transporte como uma grande caixa negra, gerida como um monopólio que assume a obrigação de fornecer serviços ilimitados de transporte para todos os agentes (Hogan, 2001). Esta abordagem tem como principal vantagem a simplicidade que oferece ao mercado de energia e transmissão, permitindo que as contratações bilaterais físicas sejam conduzidas sem a necessidade de adquirir direitos de capacidade de transporte. Associa-se a mercados formais de pool em nó único ou bolsa de energia, em que os métodos de congestionamento utilizados são o redespacho e o counter-trading. Esta abordagem é usualmente aplicada em sistemas eléctricos nacionais dimensionados a acolher todos os tráfegos correspondentes. Tem como limitação a

impossibilidade de ser aplicada quando se tratam sistemas interligados com restrições de capacidade de transporte importantes. Não servem portanto à concretização de mercados transnacionais. Para este tipo de situações, outro tipo de abordagem é requerida, nomeadamente a adopção de mecanismos de mercado para a resolução de congestionamentos, alguns dos quais abordados no presente capítulo. Referem-se nomeadamente os modelos de pool – nodal prices, pool – market splitting e os leilões explícitos de capacidade. Conforme analisado, cada método possui vantagens e inconvenientes, que deverão ser ponderados face às características das redes e à forma como estão interligadas.

O sistema de nodal prices associando direitos financeiros de transporte é aplicado predominantemente nos Estados Unidos, onde a experiência de mercados baseados em sistemas inter-estaduais interconectados é mais longa. Tem como inconveniente a elevada complexidade/ reduzida transparência e os elevados custos de transacção. As soluções adoptadas para simplificarem a sua aplicação têm redundado em fracasso e sido gradualmente abandonadas. Alternativo a este sistema surgem as propostas baseadas em flowgates, actualmente em debate nos Estados unidos. Correspondem a um modelo baseado nas propostas de Chao e Peck (1997) para o mercado de capacidade de transporte, baseado em mecanismos descentralizados de transacção em linhas/ligações potencialmente congestionadas. Este modelo pretende contrapor-se ao modelo de nodal prices como uma alternativa de mais simples aplicação. Contudo, está ainda longe de gerar consensos.

O modelo de market splitting constitui um mecanismo com provas dadas no Nordpool. O sucesso da sua aplicação deriva em grande medida das características radiais das interligações neste sistema, que limitam em grande medida os fenómenos de fluxos paralelos. A sua aplicação em sistemas interligados de forma malhada será mais complexa e menos transparente, factores que poderão inibir a sua aplicação neste tipo de contexto. Tem como principal limitação o facto do operador de mercado requerer o controlo absoluto das interligações, impedindo a existência de transacções bilaterais físicas entre sistemas.

Os leilões explícitos de capacidade constituem um método correntemente usado na resolução de congestionamentos nas interligações. Têm como vantagem a simplicidade e o facto de se adaptarem bem a diferentes desenhos de mercado. Os inconvenientes deste sistema derivam em grande medida da separação formal entre a transacção de energia e a transacção de

capacidade de transmissão correspondente, demonstrando-se mais adequados para a contratação de longo prazo. Quando os congestionamentos afectam mais do que uma interligação a aplicação de leilões explícitos exige uma coordenação complicada entre operadores de sistema, podendo colocar obstáculos significativos ao comércio.

A criação do mercado interno de energia Europeu tem necessariamente presente a adopção de métodos de resolução de congestionamentos. Os métodos em discussão, no âmbito do Fórum de Florença, são nomeadamente o market splitting e os leilões explícitos de capacidade.

### *Desenho de mercado e estrutura horizontal de mercado*

Com o abandono das pools obrigatórias as preocupações com a não discriminação no acesso ao mercado foram aligeiradas, compromisso assumido face à necessidade dos mercados conterem incentivos à promoção da eficiência de longo prazo. Contudo, introduzem-se preocupações quanto à transparência de funcionamento dos mercados grossistas, na medida que a fixação dos preços nos contratos bilaterais constitui um processo opaco e potencialmente limitador da competição. Acrescenta-se que as pool, perdendo a exclusividade das transacções físicas, passam a negociar uma menor percentagem das transacções, fazendo crescer as preocupações quanto à sua manipulação por parte de agentes com poder de mercado. O sucesso dos mercados standardizados de contratos bilaterais físicos oferece contudo uma resposta a estas posições, como demonstra a experiência no Nordpool neste domínio.

Existe contudo a noção, avançada por diversos autores – Hogan (1997) e Wilson (1998) – que as matérias de estrutura e de desenho de mercado devem ser tratadas separadamente. Ou seja, nenhum desenho de mercado, por mais eficiente que seja, será imune ao exercício de poder de mercado. Obviamente que num mercado em que exista poder de monopsonio ou oligopsonio significativo, a permissão da contratação bilateral física expõe os produtores independentes a situações de acesso discriminado ao mercado. Contudo, como demonstraram algumas experiências internacionais, as pools obrigatórias também não são imunes ao exercício de poder mercado. Os moldes em que se expressa o poder de mercado, caso existam condições para o seu exercício, decorrem em grande medida do desenho de mercado e dos sistemas de incentivos nele contidos. Numa pool, este expressa-se pela manipulação dos preços e das quantidades oferecidas na pool. Num mercado pool/bilateral, expressa-se através da

discriminação de produtores independentes e, eventualmente, na manipulação dos preços na pool/powerexchange. Em nenhum caso, contudo, o desenho de mercado consegue resolver totalmente problemas de estrutura do mercado, manifestas em concentração elevada do lado produção ou da comercialização.

#### 4. COMPETIÇÃO NOS MERCADOS ELÉCTRICOS

O elemento central de um mercado eléctrico organizado reside num leilão competitivo, com regras públicas e aceites por todos os agentes, dirigido por um leiloeiro. Neste leilão, os agentes participantes competem entre si para a aceitação das suas ofertas, jogando as suas crenças e preferências privadas comportando-se como agentes maximizadores dos lucros. As licitações, curvas de oferta e procura ou pares simples preço/quantidade, definem o modo de competição, ou seja um jogo em preços e quantidades. A análise das condições competitivas deste jogo é matéria profusamente analisada na literatura de economia industrial na última década, desde a criação do primeiro mercado eléctrico de curto prazo – a pool de E&W (Inglaterra e Gales).

Em E&W, a criação do mercado eléctrico de curto prazo tinha associada a convicção que a actuação reguladora seria dispensável, mesmo que a análise de estrutura de mercado apontasse para a existência de um duopólio. Esta convicção fundava-se em duas razões (von der Fehr et al, 1999): em primeiro lugar, a crença que os dois maiores produtores se comportariam como oligopolistas à Bertrand, competindo pelos preços, obtendo-se dessa forma preços que se aproximariam dos custos marginais; em segundo lugar, a livre entrada na produção, a partir da tecnologia de ciclo combinado, seria simples e rápida e induziria um nível competitivo acrescido, pressionando a descida dos preços.

A experiência da pool de E&W não deu validade a esta convicção, em especial quanto ao modo de competição dos agentes. Na realidade, a estrutura horizontal de mercado presente no arranque deste mercado, o comportamento da procura e as condições específicas de funcionamento do sistema eléctrico ofereciam às firmas dominantes incentivos à manipulação de quantidades e preços.

No estudo teórico e empírico do comportamento dos agentes económicos em mercados eléctricos diversas abordagens foram ensaiadas, balizadas nos modelos tradicionais da economia industrial. A aplicação do modelo de supply function, por Green e Newbery (1992), a partir do contributo de Klemperer e Meyer (1989), e a abordagem de von der Fehr et al

(1993), analisando a pool eléctrica como um jogo de movimentos simultâneos com dois oligopolistas, são exemplos das primeiras incursões teóricas neste domínio.

Os contributos formulados por estes e outros autores revestiram-se de grande importância para a actividade de regulação. Com efeito, os modelos teóricos desenvolvidos oferecem elementos valiosos para, por um lado, identificar as estratégias de mitigação de poder de mercado e, por outro lado, mensurar o seu impacto no comportamento estratégico dos agentes e nos preços.

Na actualidade, a análise de mercado no sector eléctrico é suportada em grande medida na modelação teórica. O quadro analítico de um mercado eléctrico sendo complexo, apresenta contudo um conjunto de características que facilitam a sua compreensão: as funções de procura e as funções de custos são facilmente estimáveis, as características da rede – que define a tecnologia de transacção, e a capacidade produtiva de cada agente são perfeitamente conhecidas. Embora seja difícil demonstrar empiricamente o exercício de poder de mercado, derivado de problemas de assimetria da informação, os modelos teóricos usualmente utilizados fornecem boas indicações acerca do comportamento tendencial dos agentes que operam nos mercados eléctricos.

O presente capítulo apresenta uma revisão da literatura recente sobre a análise competitiva dos mercados eléctricos.

#### **4.1. O exercício do poder de mercado nos mercados eléctricos**

Um mercado eléctrico de curto prazo apresenta um conjunto de características específicas, determinantes para o seu funcionamento e para o modo de competição adoptado pelos agentes económicos. Algumas destas características são propiciadoras do exercício de poder de mercado e merecem por isso ser analisadas com maior detalhe.

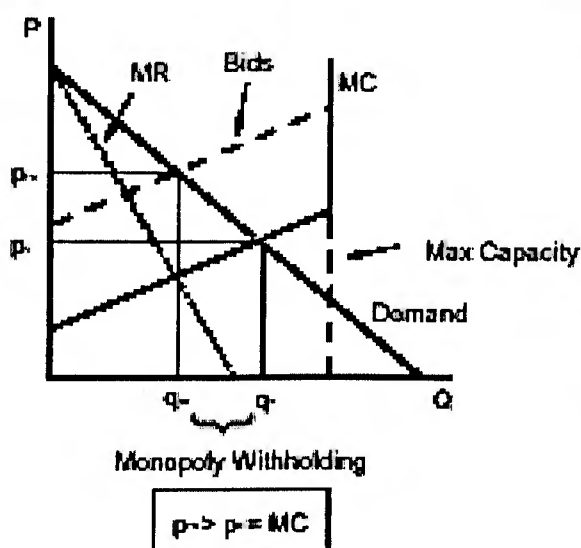
##### ***Estrutura horizontal de mercado***

O modelo de concorrência perfeita tem como hipótese fundamental que cada firma não tenha capacidade de influenciar os preços. Comportando-se optimamente cada agente definirá a quantidade a produzir de modo a que o custo marginal de produção iguale o preço de mercado. Este modelo teórico corresponde a uma estrutura horizontal de mercado atomizada.

O modelo teórico de monopólio pelo contrário apresenta uma estrutura de mercado caracterizada pela existência de apenas uma firma. A partir da função de procura inversa o monopolista identifica a sua influencia nos preços e determina o seu comportamento óptimo. A condição de equilíbrio – Rendimento Marginal igual a Custo marginal – tem implícita na formulação do preço de equilíbrio um markup sobre o custo marginal e ao mesmo tempo uma quantidade de equilíbrio inferior à obtida num modelo de concorrência perfeita. Tal corresponde à situação de máximo poder de mercado. A definição convencional de poder de mercado, como a capacidade de um determinado agente influenciar de forma lucrativa os preços de mercado, envolve por isso uma restrição na oferta que os agentes formulam no mercado (Hogan, 2001). Trata-se de uma interpretação com aderência à observação empírica dos mercados eléctricos.

Figura 4.1 Comportamento óptimo de um monopolista

## Defining Market Power: Withholding



Fonte: Hogan, 2001

Previamente à liberalização do sector eléctrico, a separação formal das actividades dos incumbentes originais resolveu insuficientemente a estrutura herdada do modelo monopólio

público ou concessionado. O mercado estruturado num número reduzido de produtores conservou junto dos agentes incentivos suficientes para o exercício de poder de mercado. A maior parte dos mercados eléctricos enquadra-se numa estrutura tipicamente de oligopólio. O comportamento dos agentes oligopolistas conforme os conceitos tradicionais da teoria do oligopólio definem dois cenários opostos para o comportamento dos agentes.

O modelo de Bertrand propõe que os agentes formulam a sua estratégia competitiva pelos preços. No caso de um duopólio simétrico, este modelo prevê que os preços formulados igualam os custos marginais e as duas empresas repartem igualmente o mercado. Trata-se de um resultado próprio das hipóteses formuladas no modelo: a firma que apresenta o preço mais baixo absorve a totalidade da procura; apresentando as firmas custos marginais idênticos a repartição do mercado e um preço de equilíbrio igual ao custo marginal é o resultado natural atendendo ao modo de competição adoptado. Este tipo de condições estão longe de se verificar nos mercados eléctricos. Tipicamente, a capacidade de cada oligopolista é limitada e não consegue dar resposta à totalidade da procura – nessa medida, se um agente apresentar um preço idêntico ao custo marginal facilmente escoa a totalidade da produção, contudo, permite ao outro agente actuar como monopolista na procura residual. Facilmente se depreende que este não é um equilíbrio de Nash – o agente que apresentou um preço idêntico ao custo marginal apresentando um preço marginalmente superior pode realizar de forma unilateral ganhos acrescidos.

O modelo de Cournot, de forma oposta ao modelo de Bertrand, propõe que os agentes definem a sua estratégia competitiva a partir das quantidades que oferecem no mercado. Este modelo tem como hipótese fundamental que cada firma optimiza a sua produção actuando na curva residual de procura, assumindo que as firmas rivais mantêm inalterada a respectiva produção. Para o contínuo de quantidades produzido pelas firmas rivais, cada agente define assim uma reacção óptima, formando uma curva de reacção. O equilíbrio do modelo é definido pela intersecção das curvas de reacção das firmas produtoras – satisfazendo a condição de equilíbrio de Nash – em que as firmas coincidem nas reacções óptimas.

O modelo de Cournot apresenta maior aderência às condições reais de um mercado eléctrico. A observação empírica da pool E&W demonstrou que as empresas dominantes manipulavam a quantidade disponibilizada ao mercado (Wollack e Patrick, 1996) no sentido de promover a



subida preços, consistente por isso com o comportamento típico de agentes Cournot. O ajustamento do modelo de Cournot às condições reais de um mercado eléctrico é contudo imperfeito. Perante uma curva de procura perfeitamente rígida o preço predito por este modelo é infinito. Nos mercados eléctricos, a procura é perfeitamente rígida (quando apenas uma predição formulada pelo operador de sistema / distribuidores) ou muito pouco sensível aos preços (em mercados onde o retalho está liberalizado), pelo que os preços preditos por este modelo, assumindo procuras extremamente rígidas, são normalmente muito superiores aos obtidos em condições reais. Este tipo de modelação apresenta contudo aderência a situações em que a procura se aproxima da capacidade máxima de produção num sistema eléctrico (Newbery, 2002), situações em que os preços podem atingir valores dramaticamente elevados.

O comportamento competitivo dos agentes, conforme a observação empírica dos mercados eléctricos, permite verificar que perante uma mesma estrutura horizontal, em função da variabilidade sazonal e diária da procura, diferentes tipos de estratégias competitivas são possíveis de registar (Borenstein e Bushnell, 1998). Em períodos de pico, determinados agentes tornam-se imprescindíveis para dar resposta à procura no sistema, oferecendo dessa forma condições para o exercício de poder de mercado. Em períodos de procura baixa os agentes competem mais agressivamente, na medida que a capacidade de produção disponível no sistema eléctrico ultrapassa largamente a procura – nestes casos, a imprescindibilidade de cada agente para satisfazer a unidade marginal de procura é menor e observa-se um modo de competição mais próximo de Bertrand.

O comportamento real dos agentes situa-se assim algures entre o proposto pelos modelos de Bertrand e de Cournot.

### ***Comportamento da procura***

Conforme observado empiricamente, o comportamento da procura de electricidade no curto prazo é extremamente inelástico. Duas razões principais justificam este tipo de comportamento: (i) os consumidores que acedem directamente ao mercado spot, tipicamente empresas industriais de grande porte, têm elasticidades procura/preço muito baixas, tendencialmente inferiores a  $\varepsilon = -0,05$  (Patrick e Wollack, 1996); (ii) no retalho os preços do mercado spot são transmitidos de forma muito parcial aos consumidores – a maioria dos

contratos de electricidade, mesmo em mercados de retalho liberalizados, são vendidos a preços fixos baseados numa média dos preços do mercado spot. Neste contexto, como refere Newbery (2002), *“even if consumers could adjust demand in response to these spot prices, most have no incentive to so respond.”*

A elasticidade muito reduzida da procura de curto prazo enquadra-se tipicamente entre os factores de poder de mercado analisados na literatura da economia industrial, acrescentando assim às questões de estrutura horizontal de mercado. Trata-se de um factor de grande importância na leitura e análise de poder de mercado num mercado eléctrico.

A derivação do índice de Lerner no quadro de um oligopólio à Cournot fornece a interpretação como um agente se comporta optimamente face ao comportamento da procura, definida na sua elasticidade procura / preço (Cabral, 1994). Este é definido como:

$$L_i = (P - C')/P = s_i/\epsilon,$$

sendo  $s_i$  a quota de mercado agente e  $\epsilon$  a elasticidade da procura. Para o mercado o índice de Lerner, como média ponderada, é então definido como,

$$L = \sum s_i L_i = \sum s_i s_i / \epsilon = H / \epsilon,$$

Em que  $H = \sum s_i^2$  é o índice de Herfindal. Como refere Cabral (1994), “este resultado é importante pois formaliza a ideia, central para a Escola do paradigma “estrutura-conduta-resultados”, de uma relação entre estrutura (aqui medida pelo índice de Herfindal) e os resultados (aqui medida pelo índice de Lerner), dado um certo padrão de comportamento (neste caso, a concorrência à la Cournot).”

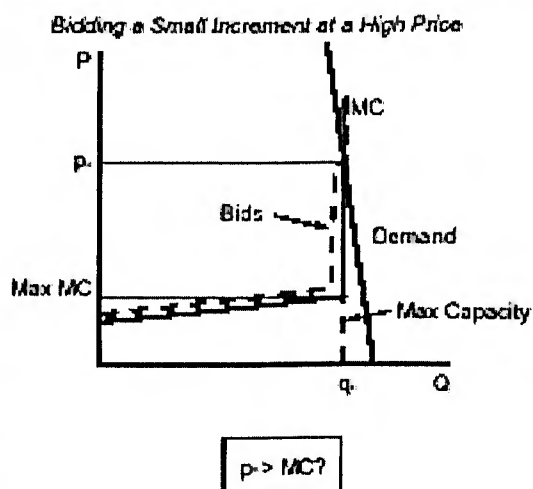
Esta análise, reproduzida num mercado eléctrico, onde a procura é fortemente inelástica, sendo assumido que os agentes se comportam como agentes Cournot, tem como predição a ocorrência de índices de Lerner elevados. Esta predição é suportada pela evidência dos mercados eléctricos em circunstâncias em que a capacidade de reserva no sistema é reduzida. Como observa Newbery (2002), *inelastic demand means that in tight markets even apparently unconcentrated generation (e.g. with Herfindahl-Hirshman indices below 1800), can sustain*

*extremely high price-cost margins for short periods.* Este elemento suscita as seguintes considerações, aparentemente contraditórias:

- Preços muito elevados num mercado eléctrico de curto prazo não são necessariamente o resultado do exercício de poder de mercado. Um sistema eléctrico a actuar muito próximo da capacidade máxima de produção disponível, pelo modo como é determinado o equilíbrio, produz necessariamente preços substancialmente acima dos custos marginais (índices de Lerner elevados), mesmo que os produtores licitem marginalmente acima dos respectivos custos marginais. Um exemplo deste tipo de situação é demonstrado por Hogan na figura 4.2.
- A existência de procura inelásticas confere um potencial elevado para a manipulação de preços, mesmo em mercados pouco concentrados.

**Figura 4.2** Exemplo de um sistema eléctrico em que a procura se aproxima da capacidade máxima de produção.

### Defining Market Power: Is This Withholding?



Fonte: Hogan, 2001

Notas à figura: i) As ofertas de venda excedem os custos marginais com uma diferença reduzida para fixar um preço de equilíbrio superior ii) A produção está na capacidade máxima e o preço é muito superior ao custo marginal directo iii) Os preços elevados derivam do sistema estar próximo da capacidade e não de um abuso excessivo de poder de mercado

### *Não armanezabilidade da electricidade*

A não armanezabilidade da electricidade tem como efeito a absoluta necessidade de recorrer à produção em tempo real para reagir a choques de produção ou de procura. Na prática, isto significa que um ou mais produtores serão sempre imprescindíveis para satisfazer as necessidades de produção. Sendo a procura extremamente inelástica, dependente do número de produtores disponíveis para acorrer ao choque poder-se-ão definir situações propícias ao exercício de poder de mercado.

### *Restrições de capacidade de transporte*

As restrições de capacidade de transporte dividem os mercados eléctricos em regiões. Têm como significado que as necessidades regionalizadas de energia tem que ser satisfeitas através de produção localizada na região afectada por restrições de capacidade de transporte. Quando se forma um congestionamento o mercado relevante define-se de forma localizada. Facilita-se potencialmente o exercício de poder de mercado, dependente da estrutura de mercado e das condições de procura presentes nesse mercado relevante.

## **4.2. A análise de poder de mercado num mercado eléctrico**

A análise de poder de mercado a partir de índices de concentração caracteriza apenas a estrutura horizontal de mercado. Como visto, esta análise não captura aspectos fundamentais do potencial para o exercício de poder de mercado, nomeadamente (Bushnell e Borenstein, 1998): (i) os incentivos oferecidos aos produtores quando se tornam imprescindíveis; (ii) a elasticidade da procura; (iii) o potencial de exercício de poder de mercado regionalizado suscitado por limitações de capacidade de transporte. A leitura de poder de mercado a partir de índices de concentração pode ser mesmo contraditória face à existência de situações de efectivo abuso de poder de mercado, aferida através de índices de Lerner. Tal decorre de

estratégias de produtores dominantes em restringirem a capacidade oferecida ao mercado<sup>8</sup>, obtendo de forma lucrativa preços superiores, contudo reduzindo a sua quota de mercado – o que se traduz na diminuição dos índices de concentração no mercado.

Em lugar de índices de concentração a investigação neste domínio emprega técnicas de análise mais sofisticadas, a partir da simulação suportada em modelos de oligopólio. Como referem Bushnell e Borenstein, (1998), estes modelos estão longe de serem perfeitos, mas oferecem diversas vantagens, capturando o impacto que a variação nas condições da procura produz na forma como as firmas competem e o papel que a elasticidade procura / preço tem na formulação das condições para o exercício de poder de mercado.

Nos próximos pontos é apresentada uma revisão dos principais modelos utilizados para estudar e simular mercados eléctricos.

### ***O modelo de leilão multi-unidades***

O estudo teórico de um mercado eléctrico promovido por von der Fehr et al (1993) parte das premissas de funcionamento de uma pool eléctrica à imagem da pool de E&W. O estudo destes autores analisa a pool eléctrica a partir da teoria de jogos. O caso particular estudado consiste num jogo estático de movimentos simultâneos jogado por dois oligopolistas assimétricos. A análise desenvolvida pelos autores identifica o espaço das estratégias, resultados e equilíbrios para diferentes condições de procura. Um jogo nestes termos tem as seguintes características: movimentos simultâneos – *sealed bid*; o preço é fixado pelo agente marginal bem sucedido – *first price*; os *payoffs* dos produtores são determinados pela diferença entre os respectivos custos de produção e o preço de equilíbrio – *private values*.

---

<sup>8</sup> este efeito pode ser obtido de formas alternativas: através de uma efectiva manipulação das quantidades oferecidas ao mercado ou através da licitação de preços mais altos que a concorrência directa, fixando o preço marginal de sistema mas prescindindo de quota de mercado.

Sendo os custos marginais diferentes entre produtores, von der Fehr et al demonstram que o preço de equilíbrio em estratégias puras será determinado por apenas um produtor com probabilidade positiva. Este resultado determina que (i) os tipos de equilíbrios em estratégias puras que possam existir são restritos e que (ii) para um leque abrangente de condições de procura não existam equilíbrios em estratégias puras.

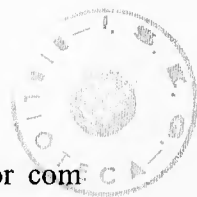
O estudo de von der Fehr et al assume a procura como perfeitamente rígida e aborda este jogo para diferentes níveis de procura – baixo e alto<sup>9</sup>. O nível baixo é definido pelos autores de tal modo que é inferior à capacidade de produção de qualquer uma das firmas oligopolistas, tendo como significado que o produtor que apresente preços mais baixos consiga absorver a totalidade da procura. Existindo um produtor com custos marginais inferiores ao outro, o equilíbrio de Nash em estratégias puras na situação de procura baixa será tal que apenas o produtor mais eficiente será chamado a produzir, fixando um preço marginalmente inferior ao do custo marginal do seu opositor.

A procura alta é definida pelos autores como uma procura superior à capacidade de produção de cada um mas em que os produtores em conjunto têm excesso de capacidade face à procura total. Neste jogo o espaço das estratégias para cada jogador é composto por duas estratégias possíveis: (i) fixar um preço idêntico ao preço marginal ou (ii) fixar o preço máximo admitido na pool<sup>10</sup>. Este jogo apresenta dois equilíbrios de Nash em estratégia puras: um produtor joga o preço máximo e o outro produtor joga o preço idêntico ao respectivo custo marginal. O produtor que joga o preço máximo fixa o preço marginal de sistema enquanto o que joga o preço idêntico ao custo marginal escoia toda a produção recebendo o preço marginal de sistema. O produtor que jogou o preço máximo escoia o equivalente à procura residual. Qual dos produtores joga o preço máximo é indeterminado, por isso a existência de dois equilíbrios de Nash em estratégias puras. Uma das consequências deste resultado é que não é

---

<sup>9</sup> von der Fehr et al (1993) estudaram ainda períodos de procura variável. Trata-se contudo de um contexto específico ao desenho de mercado da pool de E&W, com reduzido interesse para a maior parte dos mercados eléctricos.

<sup>10</sup> nas pools eléctricas é comum fixar-se um limite máximo de preço que poderá ser lícitado.



necessariamente garantida a eficiência produtiva, podendo dar-se o caso do produtor com custos marginais superiores ser aquele que produz mais.

O estudo apresentado por von der Fehr (1993) captura o efeito que as condições de procura produzem na forma como os agentes competem, sendo a intensidade de competição determinada pela probabilidade de cada produtor ser despachado. O valor preditivo desta abordagem às condições específicas de um mercado eléctrico é contudo reduzido. A situação apresentada de procura alta, a mais comum num mercado eléctrico, tem como predição que o preço marginal de sistema será idêntico ao tecto máximo de oferta de preço permitido pela pool. Este artifício permite estabelecer um preço de equilíbrio finito. Apresenta por isso um resultado com semelhanças ao proposto pelo modelo de Cournot perante uma procura perfeitamente rígida.

### *Modelo funções de oferta*

O modelo de Green e Newbery (1992) da pool E&W corresponde a uma transposição directa do modelo de Klemplerer e Meyer (1989) – *supply function equilibrium*. No modo de competição adoptado, um jogo de preços e quantidades, e nas condições enfrentadas pelos agentes – procura incerta, o modelo de equilíbrio em funções de oferta aproxima-se das condições reais enfrentadas num mercado eléctrico. Aqui reside um dos seus principais atractivos.

O modelo de Klemplerer e Meyer (1989) estuda o caso particular de um duopólio simétrico enfrentando uma procura incerta. Perante uma procura incerta, mesmo em equilíbrio, a procura residual enfrentada por cada firma é igualmente incerta. Sendo assim, cada firma possui um conjunto de pontos de equilíbrio maximizadores do lucro, cada um para uma realização da procura. A proposta destes autores defende que neste contexto as firmas oligopolistas preferem jogar funções de oferta – combinações variáveis preço / quantidade, em vez de jogarem simplesmente preços (abordagem de Bertrand) ou quantidades (abordagem de Cournot).

Klemperer and Meyer (1989) demonstram que na ausência de incerteza então qualquer ponto ao longo da curva de procura em que as firmas fornecem a um preço superior aos respectivos

custos marginais (obtendo resultados positivos) pode ser sustentado como um equilíbrio em funções de oferta. Com efeito, qualquer ponto da curva de procura satisfazendo essa condição pode ser suportado por um número infinito de pares de funções de oferta que são melhor resposta uma da outra, satisfazendo a condição de equilíbrio de Nash. Quando a procura é incerta, contudo, o conjunto de pontos na curva de procura sustentáveis como equilíbrio em funções de oferta reduz-se dramaticamente e, em casos particulares, é possível encontrar um equilíbrio único.

O modelo de Klemperer e Meyer (1989) formula a procura como uma função dependente do preço e de uma variável aleatória, satisfazendo as seguintes condições:

$Q = D(P, \epsilon)$ , em que  $\epsilon$  é uma variável aleatória pertencente ao intervalo  $[\underline{\epsilon}, \infty]$ .

Cada realização da variável  $\epsilon$  define uma curva de procura única com as seguintes propriedades:  $-\infty < D_p < 0$ ,  $D_{pp} > 0$  e  $D_\epsilon > 0$ . Klemperer and Meyer (1989) consideram o caso especial em que  $D_{pe} = 0$ . As firmas são simétricas com funções de custos contínuas e diferenciáveis.

A função de oferta para as firmas oligopolistas  $j=1,2$  é uma função  $q_j(p)$  continuamente diferenciável, cujas realizações estão contidas no intervalo  $[0, +\infty]$ . O modelo original de Klemperer and Meyer (1989) não assume restrições de capacidade produtiva.

A abordagem adoptada por Green e Newbery (1992) ao modelo de equilíbrio em funções de oferta substitui a variável aleatória  $\epsilon$  por uma variável tempo –  $T$  – ordenada de tal modo que a procura máxima ocorre no período  $t = 0$ . Para o conjunto de períodos do problema as firmas submetem em simultâneo ao operador de mercado as respectivas funções de oferta. Para cada período, o operador de mercado define o preço de equilíbrio  $p(t)$ , satisfazendo a condição que equilibra oferta e procura:

$$D[p(t), t] = q_i[p(t)] + q_j[p(t)].$$

Esta condição determina que cada firma produz na sua função de oferta e o mercado equilibra oferta e procura. A função de lucros de cada firma para um preço  $p(t)$  é então dada por :

$$p(t) q_i[p(t)] - C[q_i(p(t))], i = 1, 2.$$



O modelo de equilíbrio em função de oferta assume que cada firma otimiza o seu comportamento a partir da função de procura residual. Cada agente otimiza o seu comportamento em ordem ao preço de acordo com a seguinte função objectivo:

$$\text{Max}_p \Pi_i(p) = p(t) [D(p,t) - q_j(p)] - C[D(p,t) - q_j(p)]$$

As condições de primeira ordem para um qualquer período  $t$  definem uma função de oferta como uma equação diferenciável:

$$\frac{dq_j}{dp} = \frac{q_i}{p - C'(q_i)} + D_p$$

O equilíbrio em funções de oferta será um par de funções de oferta  $\{q_i(p)^*, q_j(p)^*\}$  que se obtém a partir da resolução do sistema de equações diferenciáveis composto pelas condições de 1ª ordem de cada um dos oligopolistas. Neste caso, sendo o duopólio simétrico, o problema é idêntico para as duas empresas e a resolução do sistema de equações diferenciáveis sintetiza-se na seguinte condição, que tem implícita a definição das funções de oferta em equilíbrio:

$$\frac{dq}{dp} = \frac{q}{p - C'(q)} + D_p$$

Green e Newbery consideram então pontos tais que  $0 < dq/dp < \infty$  ou seja, pontos em a oferta de cada firma depende positivamente no preço. A partir da hipótese assumida quando ao comportamento da oferta de cada firma em função do preço, as condições de fronteira do equilíbrio em funções de oferta são as seguintes:

$$C'(q) < p < C'(q) - \frac{q}{D_p}$$

A análise das condições de fronteira do equilíbrio em funções de oferta permite concluir que o equilíbrio em funções de oferta é limitado inferiormente pelo resultado de Bertrand e superiormente pelo resultado de Cournot. Se a derivada da função de oferta em ordem ao preço for próxima de 0 então o preço de equilíbrio aproxima-se do resultado de Cournot. Se essa derivada for muito elevada então teremos um preço mais próximo do resultado de Bertrand.

O estudo da condição de equilíbrio assinala ainda o papel determinante do comportamento da procura. Se a procura pode ser arbitrariamente alta com alguma probabilidade – a variável  $\epsilon$  não tem limite superior, então Klemperer e Meyer demonstram que o equilíbrio é único. Se as variações da procura são finitas, como é o caso num mercado eléctrico, então existe um conjunto infinito de pontos de equilíbrio definidos entre o resultado de Bertrand e Cournot, dependente do comportamento da derivada da função de oferta de cada firma em ordem ao preço. Se a elasticidade da procura é nula (procura perfeitamente rígida) então o limite superior do resultado de equilíbrio – o resultado de Cournot – é indefinido, uma vez que o preço predito por este modelo é infinito. Considerando que a variação da procura num mercado eléctrico é finita, o modelo produz um resultado indefinido, situado entre o equilíbrio de Cournot e Bertrand, pelo que o seu valor preditivo é reduzido. Esta é a principal crítica apresentada usualmente a este modelo. Em exercícios de simulação com esta modelação a adopção de funções de custo contínuas e diferenciáveis é também criticada.

A partir da proposta original de Green e Newbery (1992) múltiplas variantes do modelo de funções de oferta foram desenvolvidas. A introdução de restrições de capacidade produtiva e funções de custo descontínuas tende usualmente a reduzir o leque de soluções admissíveis como equilíbrio de Nash em funções de oferta (Baldick e Hogan, 2001).

### *Modelo de Cournot*

O modelo de Cournot é utilizado profusamente na literatura da economia industrial que estuda os mercados eléctricos. Trata-se de um jogo de quantidades e movimentos simultâneos, em que cada firma formula o seu comportamento óptimo a partir da curva de procura residual enfrentada, assumindo que o comportamento das firmas rivais se mantém inalterado. Embora se trate de um jogo de quantidades, mimetiza bem o funcionamento de um mercado eléctrico a actuar próximo do limite de capacidade de produção no sistema, onde os preços podem atingir extremamente elevados – como refere Newbery (2002), os preços na pool inglesa chegaram a atingir valores da ordem dos 1100 libras/MWh. Face à elasticidade da procura num mercado eléctrico, em condições de procura distantes da capacidade de produção máxima de um sistema, o modelo de Cournot tende contudo a exagerar o exercício de poder de mercado. Por isso é comum, quando se estuda um mercado eléctrico com um modelo de Cournot, adoptar elasticidades procura preço mais elevadas por forma a transmitir simulações de preços mais

realistas. Outra limitação da modelação a partir do comportamento Cournot é identificada quando se analisam os efeitos de fusões e aquisições na estrutura horizontal de mercado. Neste contexto, os modelos de Cournot apontam sempre que a fusão é não lucrativa (a empresa resultante da fusão obtém lucros inferiores à soma dos lucros das empresas independentes que são fundidas).

Num modelo de Cournot, a função de rendimento de cada agente é dada por:

$p q_f = p(q) q_f = p(q_f + q_{-f}) q_f$ , em que  $p(q)$  é a função de procura inversa e em que  $q_{-f}$  é a quantidade fornecida pelas outras firmas. O asterisco significa que  $f$  actua assumindo que  $q_{-f}$  é fixo. As condições de primeira ordem de um problema de Cournot para a firma  $f$  determinam assim o seguinte rendimento marginal:

$$MR = \partial(p q_f) / \partial q_f = p + (\partial p / \partial q)(1 + \partial q_{-f}^* / \partial q_f) q_f = p + (\partial p / \partial q)(1 + 0) q_f = p + (\partial p / \partial q) q_f$$

### *Modelo de Stackelberg*

O modelo de oligopólio de Stackelberg define-se como um jogo leader – follower, estudando uma estrutura de mercado caracterizada pela existência de uma empresa dominante. Pode definir-se como um jogo em quantidades ou em preços, sendo usual, no estudo de mercados eléctricos, a adopção do jogo em quantidades. O modelo de leader-follower, atribuído a Stackelberg, define-se como um jogo sequencial, em que o primeiro movimento é assumido pelo líder de mercado fixando a quantidade a produzir. Os seguidores após o líder de mercado revelar a sua quantidade decidem então as quantidades a produzir. O problema do líder será decidir a quantidade a produzir, reconhecendo que a sua decisão tem impacto na acção das firmas seguidoras. O líder assume que o seguidor age como agente maximizador dos lucros e identifica a respectiva curva de reacção às quantidades por si fornecidas.

A formalização do problema do líder incorpora assim o problema de óptimo do seguidor na formulação da respectiva função objectivo. Sendo a firma  $f$  o líder e  $-f$  as firmas seguidoras, então a função de rendimento do líder é expressa como:

$$p[q_f + q_{-f}(q_f)] q_f,$$

sendo  $q_i(q_i)$  a função de reacção dos seguidores.

Hogan (1997) e Borenstein e Bushnell (1998) apresentam modelos empíricos de mercados eléctricos incorporando o comportamento líder-seguidor proposto no modelo de Stackelberg. A estrutura horizontal de mercado estudada pelos modelos desenvolvidos por estes autores caracteriza-se na existência de um conjunto de empresas dominantes, designadas como empresas Cournot, e um conjunto de empresas competitivas, cujo comportamento é tipicamente de seguidor. Nestes modelos, cada firma dominante assume na sua função objectivo o comportamento das outras firmas dominantes e da franja competitiva do mercado. A procura residual identificada por cada agente dominante, construída a partir da subtracção da resposta óptima das firmas competitivas para cada nível de preço, tende a ser mais elástica que a função de procura original. Dada a maior elasticidade desta curva de procura, a partir desta transformação obtêm-se preços mais bem comportados que os que derivam de modelos de Cournot.

A principal crítica que se poderá apresentar a este tipo de modelação é que concebe um mercado eléctrico organizado como um jogo sequencial quando na realidade se trata de um jogo de movimentos simultâneos.

### *Modelos de variações conjecturais*

O modelo de Variações conjecturais, inicialmente proposto por Bowley (1924), define-se como um jogo estático de movimentos simultâneos. Tem como ideia básica que quando uma determinada firma altera o seu comportamento antecipa que a sua concorrência exibirá algum nível reacção. Cada firma define no fundo uma conjectura quanto ao comportamento das suas rivais. No modelo a conjectura é formulada a partir de uma constante  $\theta$ : quando a firma  $f$  aumenta a sua produção em uma unidade, esta conjectura que a sua concorrência aumentará a produção em  $\theta$ , resultando numa variação total de  $1 + \theta$ .

Dois tipos de modelos de variações conjecturais foram desenvolvidos, formulados com base em dois comportamentos distintos de reacção conjecturada: reacção a quantidades e reacção a preços.

## Variações conjecturais generalizadas

Num modelo de variações conjecturais generalizadas a função de rendimento de uma firma é definida por:

$$pq_f = p[q_f + q_{-f}(q_f)]q_f$$

em que  $q_{-f}(q_f)$  é a conjectura formulada pela firma  $f$  relativamente à produção das suas rivais, assumida como uma função de  $q_f$ . O rendimento marginal para a firma  $f$  define-se então na seguinte expressão:

$$\partial(pq_f)/\partial q_f = p + (\partial p/\partial q)(1 + \partial q_{-f}/\partial q_f)q_f = p + (\partial p/\partial q)(1 + \theta)q_f$$

em que  $\theta$  é a constante de variação conjectural (VC), entendida como a derivada  $\partial q_{-f}/\partial q_f$ .

Para diferentes valores de  $\theta$  o modelo exhibe comportamentos diferentes. Se  $\theta = 0$ , o modelo representa o caso de Cournot. Se  $\theta = -1$  temos o jogo de concorrência perfeita. Com  $\theta = +N$  representa-se o comportamento colusivo (quantity matching) quando existem  $N+1$  firmas simétricas.

Se o valor  $\theta$  assumido pela firma  $f$  corresponde ao valor verdadeiro então o modelo oferece conjecturas consistentes. Note-se que a expressão que define o rendimento de cada oligopolista tem alguma semelhança à formulada no âmbito do modelo de Stackelberg. A principal diferença reside no facto de no modelo de variações conjecturais  $q_{-f}(q_f)$  ser entendido como uma conjectura da firma  $f$ , enquanto no modelo Stackelberg trata-se da observação correcta do comportamento da sua concorrência. No caso da conjectura ser verdadeira verifica-se que o modelo de Stackelberg é um caso particular do modelo de variações conjecturais. Por isso, como refere Hobbs (2001), o modelo de variações conjecturais pode ser interpretado como uma versão generalizada do modelo de Stackelberg.

Este tipo de modelação não é inteiramente satisfatória do ponto de vista teórico na medida que, como refere Tirole (1989), descreve aspectos dinâmicos com base num modelo estático. Contudo, Cabral (1995) demonstrou que os modelos de variações conjecturais correspondem à forma reduzida das estratégias de equilíbrio associadas a um modelo dinâmico de oligopólio. Neste contexto, como refere Schmalensee (1989) as variações conjecturais, medidas no

parâmetro  $\theta$ , são “*best interpreted as reduced form parameters that summarize the intensity of rivalry that emerges from what may be complex patterns of behaviour*”. Como acrescenta Cabral (1995), citando Ferrel e Shapiro (1990), “*in particular, from de equilibrium point a view of an (unmodeled) dynamic oligopolistic game*”.

Outra crítica formulada a estes modelos deve-se à sua consistência, ou seja, a verificação da veracidade das conjecturas: a não ser que um conjunto de hipóteses informacionais específicas sejam assumidas apenas o modelo de Cournot VC ( $\theta = 0$ ) é consistente (Corts, 1999). Por outro lado, como refere Hobbs (2001), a estimação de  $\theta$  é particularmente difícil na ausência de informação de custos marginais, o que implica que estes modelos são muitas vezes utilizados de forma *ad hoc*. Não se trata contudo do caso dos mercados eléctricos em que esta informação é facilmente estimável. Wolfram (1998), estudando o mercado de E&W, e Puller (2000), estudando o mercado da Califórnia, fornecem-nos exemplos de estudos de conduta das firmas em que o parâmetro  $\theta$  foi estimado.

A principal vantagem deste tipo de modelos, comparativamente ao modelo de Cournot, reside no facto de perante um procura perfeitamente inelástica este oferecer preços relativamente bem comportados. Na prática um modelo de variações conjecturais difere de um modelo de Cournot no factor  $(1 + \theta)$ . Para valores de  $\theta$  inferiores a 0 (o modelo de Cournot) a firma interpreta a procura como se tivesse uma elasticidade superior. O factor  $(1 + \theta)$  pode ser assim interpretado como um factor correctivo da elasticidade procura preço enfrentada por cada firma.

### Conjectured Supply Function (CSF)

O modelo de funções de oferta conjecturais, proposto por Hobbs et al (2001), assume que a firma  $f$  conjectura que a reacção das firmas rivais é formulada em função do preço de equilíbrio esperado e não em função da quantidade ofertada pela firma  $f$ . A designação que os autores ofereceram ao modelo, funções de oferta conjecturais, decorre deste modelo se aproximar de um jogo em quantidade e preços.

Neste caso, como propõem Hobbs et al (2001), a produção pelos competidores ( $-f$ ) reage – talvez incorrectamente – ao preço de mercado resultante do comportamento otimizador da

firma  $f$  de acordo com a função  $q_{-f}(p)$ . Como resultado, a função de rendimento é definida como:

$$pq_f = p[q_f + q_{-f}(p)]q_f.$$

Como defendem Hobbs et al (2001), a vantagem deste tipo de abordagem é que a função  $q_{-f}(p)$  pode ser modelada como uma função suave, simplificando o cálculo do equilíbrio. No artigo destes autores esta função foi modelizada como uma função linear a partir de duas abordagens alternativas: inclinação fixa e intersecção na origem fixa.

Este modelo foi utilizado, a título exemplificativo, para o mercado da pool de E&W, assumindo a versão da função  $q_{-f}(p)$  com intersecção na origem fixa. Os parâmetros utilizados basearam-se na conjectura que a função  $q_{-f}(p)$  para todos os agentes teria uma elasticidade unitária.

### ***Comportamento colusivo***

O comportamento colusivo pode ser simulado em modelos de oligopólio como um jogo cooperativo em que as firmas maximizam o lucro conjunto.

Armstrong, Cowan and Vickers<sup>11</sup> (1994) notam que a interacção repetida dos produtores que participam no mercado diariamente cria um contexto favorável à colusão tácita de preços. A operação de uma pool reveste-se de um conjunto de características que propiciam este tipo de comportamento. Como referem estes autores, estas são:

- a interacção é repetida diariamente e as quantidades e preços oferecidos por cada agente são públicas, permitindo e favorecendo o conhecimento das consequências de estratégias coordenadas de licitação no mercado;
- as ofertas de preços e a capacidade declarada ao mercado por cada produtor são públicas, permitindo a cada produtor monitorar o comportamento dos seus rivais e

---

<sup>11</sup> Citados por von der Fehr et al. (1998)

identificar claramente desvios – e possivelmente castigá-los – relativamente às estratégias de licitação colusivas ou coordenadas.

O papel do regulador pode contudo obstar à existência deste tipo de comportamento. Como refere von der Fehr (1998), o regulador dispõe da mesma informação que os agentes que operam no mercado e terá interesse em verificar em que medida este tipo de práticas ocorrem. A observação empírica de alguns mercados eléctricos é disso demonstrativa. Na pool de E&W o regulador britânico apresentou um papel bastante activo na monitorização do mercado, promovendo diversos inquéritos ao comportamento dos agentes no mercado. A evidência de comportamento colusivo é contudo muito difícil de demonstrar, derivado de problemas de assimetria de informação. Nos primórdios da pool da Noruega, existem indícios de que este tipo de comportamento possa ter existido, contudo, nunca foi claramente demonstrado.

#### **4.3. Os efeitos competitivos das restrições de capacidade de transporte**

Os modelos anteriormente estudados são frequentemente adoptados no estudo de mercados em nó único. A extensão dessa análise a mercados que formulem o equilíbrio incorporando as restrições de capacidade de transporte implica a necessidade de estudar os efeitos competitivos introduzidos por essas restrições.

O estudo dos efeitos competitivos das restrições de capacidade de transporte compreende uma vasta literatura, desde modelos teóricos que analisam estes efeitos a partir de representações esquemáticas de uma rede de transporte, aos modelos, pensados para a simulação, que incorporam representações mais complexas da rede de transporte, baseada na aproximação em corrente contínua. Equacionam-se igualmente diferentes desenhos de mercados, desde os mercados centralizados em pools multinodais, em que os custos de transporte são determinados a partir de preços nodais, aos modelos bilaterais/descentralizados, em que os custos de transporte são determinados com base em leilões de capacidade de transporte.

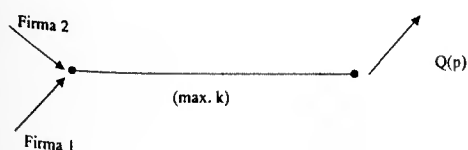
Os modelos teóricos partindo de representações esquemáticas de uma rede de transporte têm por preocupação identificar os tipos de comportamentos que podem emergir perante restrições na capacidade de transporte. O comportamento é correntemente modelizado na hipótese de Cournot. Neste contexto, pretende-se aferir qual o efeito no equilíbrio standard de Cournot quanto as restrições de capacidade de transmissão são introduzidas.



Os esquemas de rede estudados nas análises teóricas são variados. Os modelos mais simples esquematizam uma rede na sua forma mais básica com uma linha e dois nós. Os cenários competitivos adoptados neste contexto são igualmente diversos. A situação de um mercado num nó e dois produtores oligopolistas no outro nó que acedem ao mercado através de uma linha com capacidade limitada é a situação mais estudada, cumprindo assinalar os contributos de Oren (1997) e Stoft (1998). Outro tipo de situação estudada corresponde à da existência de dois mercados / nós em regime de monopólio ligados por uma linha, analisada por Borenstein et al (2000). O estudo promovido por Joskow e Tyrole (2000) analisa mais concretamente o efeito conjugado das restrições de capacidade de transporte com o mercado de transporte associado, baseado em direitos físicos de transporte ou em direitos financeiros de transporte.

A esquematização de uma rede em três nós e três linhas, esquema triangular, é também estudada. Os cenários competitivos oferecidos neste contexto são mais variados, pelos graus de liberdade que esta situação oferece. Referem-se, neste contexto, a extensão realizada por Joskow e Tyrole (2000) ao seu modelo de uma linha e dois nós. De particular interesse é o estudo de Stoft (1998) para uma rede triangular.

### ***Duopólio partilha uma linha para aceder ao mercado***



O estudo do caso de um duopólio num nó e o mercado no outro nó ligado por uma linha com uma capacidade limitada  $k$  é analisado por diversos autores. As hipóteses usualmente assumidas no estudo deste tipo de jogo impõem que os agentes se comportam como agentes Cournot, mas atribuem diferentes hipóteses quanto ao mecanismo de alocação de capacidade de transporte.

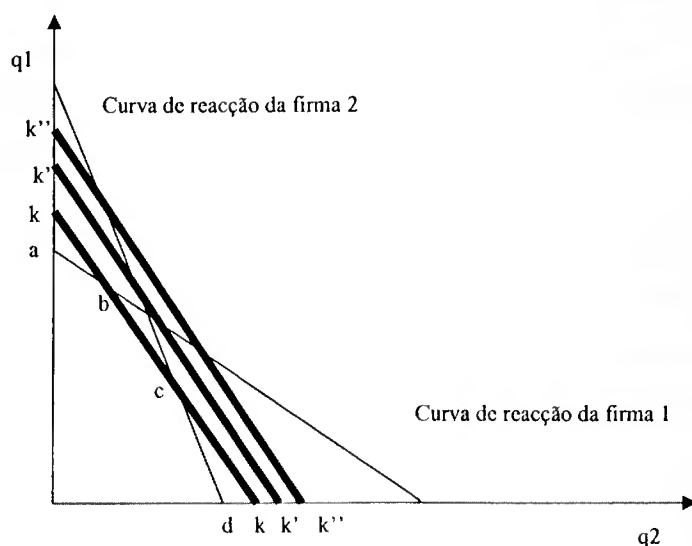
A formulação de Cournot para um duopólio define que o equilíbrio de Nash é obtido pelo ponto em que as reacções óptimas dos agentes se equivalem, ou seja o ponto em que ambas as curvas de reacção se intersectam. Com restrições de capacidade de transporte, verifica-se que

as quantidades produzidas por ambos os agentes enviadas para o nó onde se define a procura tem um limite, definido na expressão:

$$q_1 + q_2 \leq k$$

A representação gráfica (figura 4.3) da restrição de capacidade de transporte no espaço das curvas de reacção ilustra os impactes sobre a formulação das condições de existência e unicidade do equilíbrio em função de diferentes níveis de  $k$ . Se  $k \geq q_1^c + q_2^c$ , em que  $q_j^c$  designa as quantidades jogadas por cada firma em equilíbrio de Cournot, verifica-se que o resultado standard de Cournot é possível. Na figura 4.3 estes casos são ilustrados nas situações em que capacidade de transporte são  $k'$  e  $k''$  - nestes casos as restrições de capacidade de transporte não são activas. Com a linha des congestionada verifica-se que o resultado deste jogo é exactamente o resultado standard de Cournot, sendo o equilíbrio de Nash em estratégias puras único. Para valores de  $k < q_1^c + q_2^c$ , verifica-se que o equilíbrio standard de Cournot não é possível.

**Figura 4.3 Equilíbrio de Cournot com restrições de capacidade**



O estudo das condições de existência e unicidade do equilíbrio neste jogo depende das hipóteses quanto ao mecanismo de alocação da capacidade de transporte.

Em Oren (1997), o jogo proposto não reconhece qualquer papel ao operador de sistema. O jogo é jogado pelas duas firmas oligopolistas simétricas reconhecendo as restrições de

capacidade de transmissão. Neste jogo Oren não associa um preço para a capacidade de transporte, ou seja ele é assumidamente nulo. A predição de equilíbrio deste jogo perante uma restrição de capacidade de transporte activa é que as firmas, sendo simétricas, escolham a mesma produção  $q_{1,2}=K/2$ . Em equilíbrio as firmas restringem a sua produção até ao ponto em que a restrição de capacidade de transporte não é ultrapassada, sendo o preço sombra da capacidade de transmissão nulo.

Este resultado é contestado por Stoft (1998). Para Stoft, a predição que o equilíbrio deste jogo é único no contexto de restrições de capacidade activa não é sustentável quando se introduz um operador de sistema gerindo congestionamentos com base num mecanismo de nodal prices. Stoft demonstra, neste contexto, que qualquer ponto no segmento  $[b,c]$  (figura 4.3) constitui um equilíbrio de Nash em estratégias puras do jogo descrito. A demonstração é simples. Num esquema de nodal prices, não sendo identificados congestionamentos na rede e ignorando perdas em transporte, o preço de equilíbrio do sistema será idêntico em todos os nós. A partir do momento que é identificado um congestionamento o mecanismo de nodal prices produz diferentes preços de equilíbrio no sistema – no caso presente, com a linha congestionada teríamos um nó de preço alto –  $P(k)$ , aquele em que está a procura, e um nó de preço baixo –  $P(k)-\eta$ , aquele em que estão as duas firmas oligopolistas<sup>12</sup>. Na situação em que os agentes decidem produzir de tal modo que  $q_1+q_2=k$ , a linha está no limite de capacidade de utilização e o preço em ambos os nós é  $P(k)$ .

Analisemos então um candidato a ponto de equilíbrio. No ponto b (figura 4.3) a firma 1 está sobre a sua curva de reacção enquanto a firma 2 não está, ou seja, a firma 2 face à quantidade produzida pela firma 1 teria como reacção óptima produzir uma quantidade superior àquela que tem em b, quantidade essa definida na sua curva de reacção. Contudo, se a firma 2

---

<sup>12</sup> Stoft assumiu que o jogo seria baseado numa pool sustentada em nodal prices em que as firmas actuam como agentes Cournot. Num sistema de nodal prices, para determinar preços é necessário que os agentes formulem ofertas de preço. Stoft assumiu que as firmas baseariam as ofertas ao operador de sistema nos respectivos custos marginais e que formulariam a sua estratégia em quantidades.

aumentar, mesmo que marginalmente, a quantidade que licita ao operador de sistema deverá potencialmente congestionar a linha. O mecanismo preço de nodal prices, aplicado pelo operador de sistema, corrige então o congestionamento, formulando preços distintos em cada nó por forma às firmas no nó 1 ajustarem o seu comportamento, conforme as respectivas curvas de oferta/custos marginais. Como resultado teremos: no nó da procura o preço será ainda  $P(k)^{13}$ , sendo  $k$  a quantidade máxima que entrará no mercado, enquanto no nó onde estão as firmas oligopolistas o preço será  $P(k)-\eta$  (sendo  $\eta$  o preço sombra da restrição de capacidade de transporte). Se a firma 2 aumentar a produção acima daquela que tem no ponto  $b$  terá deste modo lucros inferiores (supondo que a curva de custos marginais é não decrescente). No ponto  $b$  a firma 1 está na sua curva de reacção e a firma 2 produz o valor mais próximo do seu óptimo que não congestiona a linha. O ponto  $b$  satisfaz assim a condição de equilíbrio de Nash. Facilmente se demonstra que qualquer ponto no segmento de recta  $[b,c]$  é um equilíbrio de Nash com um preço idêntico nos dois nós avaliado em  $P(k)$ .

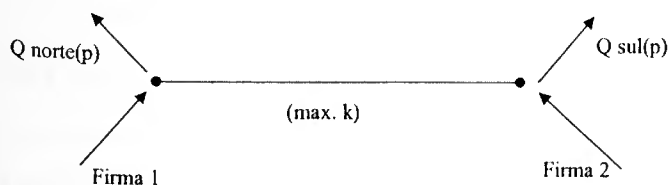
Repare-se que, neste jogo, apenas para ofertas ao operador de sistema tais que  $q_1+q_2>k$  se verificam preços diferentes entre nós, gerando a renda de congestionamento apropriada pelo operador de sistema. Conclui-se assim que no contexto de um jogo de Cournot com esta representação de rede os agentes apropriam-se da totalidade da renda de congestionamento, avaliada em  $k.\eta$ . A dedução de Oren é então que este resultado é consistente com o Teorema de Coase<sup>14</sup>: which supports the argument that in the absence of transaction costs...bargaining will capture all the congestion rents.

---

<sup>13</sup> Num mecanismo de nodal prices o preço em cada nó é idêntico ao excedente marginal da procura, ou seja, o preço  $P(K)$ .

<sup>14</sup> Citado por Willems (2000)

*Dois mercados em regime de monopólio integrados por uma linha com capacidade limitada.*



Em Borenstein et al (2000), modeliza-se uma rede com dois nós e uma linha com capacidade limitada  $k$ , estando em cada nó um produtor dominante e uma procura. Cada produtor enfrenta a procura no seu nó mais a procura do nó vizinho até ao limite de capacidade da linha.

Este jogo pode ser encarado como a integração de dois mercados em regime de monopólio, de acordo com as condições determinadas pela capacidade de interligação existente. Ao contrário do jogo anterior, neste caso o equilíbrio de Cournot é fisicamente possível. Na realidade qualquer quantidade de equilíbrio em que as firmas produzam quantidades idênticas é possível (o que implica que o trânsito de energia na linha é nulo). O interesse deste jogo consiste em verificar a forma como as firmas ajustam o seu comportamento original – comportamento de monopólio, quando por efeito da existência de uma linha entre os dois mercados o respectivo mercado doméstico é exposto a um competidor adicional que pode entrar até um nível de produção  $K$ . Neste contexto, interessa perceber como o nível de interligação  $K$  interfere na formulação do equilíbrio.

O modelo estudado por Borenstein et al (2000) assume que os agentes se comportam à Cournot e fundamenta-se adicionalmente nas seguintes hipóteses<sup>15</sup>:

- A procura em cada nó é caracterizada em funções de procura inversa idênticas;
- As empresas são simétricas com função de custos marginais não decrescentes nas quantidades produzidas;

---

<sup>15</sup> Para além das hipóteses citadas os autores assumem ainda outras hipóteses quanto ao comportamento das derivadas por forma a assegurar que o equilíbrio de Cournot, quando possível, existe e é único;

- Existe um operador de sistema que recolhe as ofertas de cada agente produtor e que maximiza o bem estar global, definindo um mercado assente em nodal prices.

Na hipótese de nodal prices, o preço a que cada firma venderá a sua produção é determinado no nó em que produz, independentemente de essa produção ser ou não consumida nesse nó.

Esta hipótese determina que:

- Na ausência de congestionamento na linha o preço será idêntico entre ambos os nós/mercados.
- Existindo congestionamento, a diferença de preços entre nós será equivalente ao preço sombra da restrição de capacidade de transporte e o fluxo de potência entre os dois nós será direccionado do nó com preço mais baixo para o nó com preço mais alto.

Na prática o jogo é jogado por três agentes, sendo o terceiro o operador de sistema, que promove a arbitragem de preços entre nós, de tal modo que as diferenças de preços entre regiões reflectem apenas os custos de transporte.

Sendo a capacidade de transporte entre nós limitada em  $K$  e identificando um nó como Norte e o outro como Sul, a procura enfrentada por cada firma é identificada na função a seguir descrita. Se a firma no nó Norte produz uma quantidade inferior a  $q_n = q_s - 2K$  temos que a linha é utilizada na sua máxima capacidade  $K$  sendo o fluxo de potência direccionado de Sul para Norte e o preço em Norte é superior ao preço em Sul. Este resultado deriva de (i) a procura nos dois mercados ser simétrica e (ii) o operador de sistema promover a arbitragem de preços entre mercados até ao ponto em que a linha é utilizada na sua capacidade máxima. Se a firma em Norte produzir uma quantidade superior a  $q_n = q_s - 2K$ <sup>16</sup> a linha fica descongestionada até ao ponto em que produção de N relativamente a S atinge  $q_n = q_s + 2K$ . Neste intervalo, a procura enfrentada por cada firma será equivalente a  $\frac{1}{2}(q_n + q_s)$ , resultado que decorre da ausência de congestionamento. Nesta situação o preço é idêntico em ambos os mercados. A partir do ponto

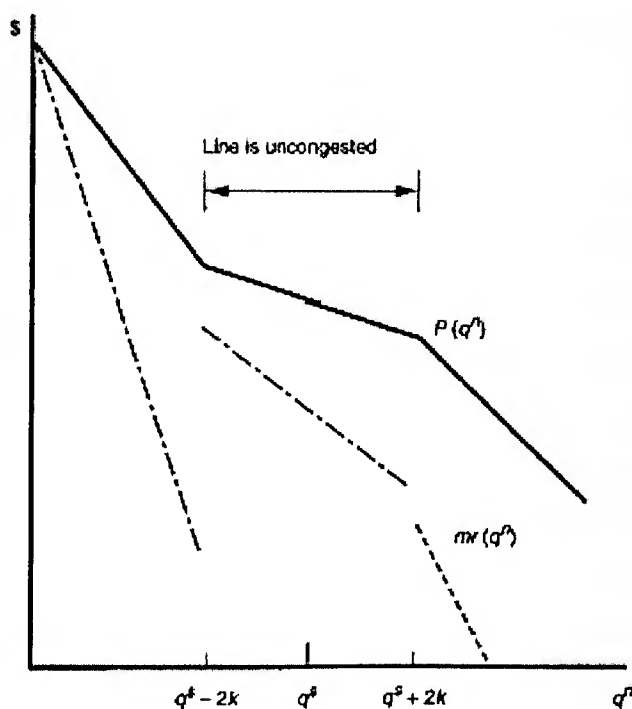
---

<sup>16</sup> note-se que nesta situação  $q_n + K < q_s - K$ , ou seja a diferença entre os níveis de produção é superior a  $2k$ , estando a linha congestionada, assumindo que o operador de sistema transfere  $k$  unidades de produção entre mercados no sentido de arbitrar as diferenças de preços entre nós.

em que  $q_n$  é maior que  $q_n = q_s + 2K$ , então a linha está a ser utilizada no seu máximo e o fluxo de potência é direccionado de Norte para Sul sendo o preço maior em Sul.

$$(Q^n, Q^s) = N(q^n, q^s) = \begin{cases} (q^s + k, q^s - k) & \text{if } q^n < q^s - 2k \\ \left[ \frac{1}{2}(q^n + q^s), \frac{1}{2}(q^n + q^s) \right] & \text{if } q^s - 2k < q^n < q^s + 2k \\ (q^n - k, q^n + k) & \text{if } q^n > q^s + 2k \end{cases} \quad (1)$$

Figura 4.4 Curva de procura enfrentada pela firma n quando a firma s produz  $q_s$



Fonte: Borenstein et al, 2000

A figura 4.4 ilustra a função de procura enfrentada pela firma em Norte para cada um dos segmentos identificados. Face a esta procura cada agente maximiza o seu rendimento de acordo com a seguinte função objectivo:

$$\Omega_n(q^n, q^s) = \begin{cases} q^s P(q^n + k) - C(q^n) = \pi(q^n, k) & \text{if } q^n < q^s - 2k \\ q^n P\left(\frac{1}{2}(q^n + q^s)\right) - C(q^n) = \Pi(q^n, q^s) & \text{if } q^s - 2k < q^n < q^s + 2k \\ q^n P(q^n - k) - C(q^n) = \pi(q^n, -k) & \text{if } q^n > q^s + 2k \end{cases} \quad (2)$$

Note-se que o preço enfrentado por cada firma é determinado na função de procura doméstica pela quantidade consumida no respectivo mercado, em conformidade com a hipótese de utilização de nodal prices.

**Lema 1:** Assumindo as hipóteses iniciais, quando dois monopólios simétricos são ligados por uma linha de transporte, qualquer firma prefere aumentar a produção face à quantidade que produziria em regime de monopólio caso a firma rival decida manter o nível de produção de monopólio.

A demonstração deste lema é simples: se ambas as firmas decidirem manter a quantidade de monopólio a linha fica descongestionada. Se uma das firmas decide manter a quantidade de monopólio a sua rival tem sempre a ganhar em aproximar-se de um ponto de produção na curva de reacção em duopólio de Cournot, aumentando os respectivos lucros. Este resultado deriva do facto de quando uma firma produz mais que a outra sem congestionar a linha – o que implica preços idênticos nos dois mercados, uma das firmas estará a realizar ganhos superiores. Sendo as firmas simétricas e estando a linha descongestionada, nestas condições, um equilíbrio só poderá subsistir se ambas as firmas realizarem lucros idênticos. Com a linha descongestionada o único equilíbrio possível para este jogo será o equilíbrio standard de Cournot, o que põe de parte a existência de pontos de equilíbrio em que ambas as firmas produzem quantidades idênticas mas inferiores àquelas que se obtêm no equilíbrio de Cournot. Este resultado deriva do facto de ambas as firmas definirem a sua resposta óptima na zona descongestionada da curva de procura. No fundo, em qualquer ponto em que as firmas produzam quantidades idênticas mas inferiores à quantidade de Cournot qualquer firma pode unilateralmente aumentar os seus lucros, aproximando-se da sua reacção óptima à Cournot. Esta conclusão remete-nos para o lema 2 do estudo de Borenstein et al (2000).

**Lema 2:** Assumindo as hipóteses iniciais, o único equilíbrio em estratégias puras quando a linha está descongestionada é o equilíbrio de Cournot.

Os dois primeiros lemas demonstram que mesmo para linhas de interligação de capacidade muito reduzida o resultado de monopólio em cada mercado não constitui um equilíbrio sustentável. Interessa então verificar como um congestionamento poderá potencialmente interferir nesta formulação e, neste contexto, estudar as condições de existência e unicidade de



equilíbrio de Nash, ou seja, um ponto em que nenhuma das firmas encontre incentivos em mudar de estratégia.

Para compreender o impacto sobre estes resultados de um congestionamento é preciso verificar o impacto das restrições de capacidade de transporte sobre a reacção óptima de cada firma. Como acima observado, tal é dependente do segmento da curva de procura que cada firma enfrenta.

### **1º segmento da curva de reacção – a linha encontra-se congestionado no sentido do mercado vizinho**

Quando a firma rival produz uma quantidade inferior em  $2K$  à sua produção ( $q_{\text{rival}} = q_{\text{firma}} - 2K$ ), a firma enfrenta a função de procura no segmento  $P(Q-K)$ , uma vez que o operador de sistema transfere necessariamente  $K$  unidades de produção para o mercado vizinho. A resposta óptima da firma será então produzir a quantidade de monopólio face ao segmento da curva de procura enfrentada, resultado definido como  $q_m^+(K)$ <sup>17</sup>. Nesse segmento da curva de procura a firma possui uma posição dominante uma vez que a firma rival não entra no respectivo mercado. Esta é a resposta óptima quando a firma rival produz menos que  $q_{\text{rival}} = q_m^+(K) - 2K$ . Este resultado é demonstrado pelo lema 1. Considerando que a linha está congestionada – mesmo que quisesse produzir mais para exportação a firma é limitada pelo limite de capacidade da linha  $K$ , logo esta produção/reacção óptima é independente da quantidade produzida pelo seu rival para quantidades inferiores a  $q_{\text{rival}} = q_m^+(K) - 2K$ . No segmento da curva de procura em que a firma assume uma posição exportadora de  $K$  – o limite de capacidade da linha, o preço que esta enfrenta é determinado pela quantidade consumida no respectivo mercado, dado por  $P(Q-K)$ . Os autores definem esta posição como o **comportamento competitivo agressivo**.

### **2º segmento da curva de reacção – a linha encontra-se descongestionada**

Para quantidades de  $q_{\text{rival}} > q_m^+(K) - 2K$  a linha fica descongestionada e os preços são idênticos em ambos os mercados. Neste contexto, ambas as firmas enfrentam o segmento

---

<sup>17</sup> Considerando que a função de custos marginais é não decrescente.

descongestionado da curva de procura e vão comportar-se no sentido de se aproximarem da respectiva resposta óptima à Cournot com a linha descongestionada. A capacidade de interligação  $K$  joga neste caso um papel importante na forma como a firma reage ao comportamento da sua rival. À medida que a firma rival aumenta a sua produção a melhor resposta local<sup>18</sup> da firma é aumentar a sua produção em mais  $2K$  unidades que a sua rival, é claro, enquanto o rendimento marginal obtido desse aumento de produção for superior aos respectivos custos marginais de produção. Em última análise, neste processo, poderíamos chegar ao equilíbrio de Cournot descongestionado. Contudo, à medida que a firma aumenta a sua produção como resposta à sua rival, os seus lucros diminuem. Sendo a capacidade de transporte  $K$  suficientemente pequena, pode chegar-se a um ponto  $q_{sw}(K)$ <sup>19</sup> em que continuar a aumentar em  $2K$  a produção como resposta ao comportamento da firma rival deixe de ser compensador. Nesta situação a firma opta por mudar o seu comportamento competitivo agressivo para um **comportamento competitivo passivo** com uma linha de capacidade  $K$ , um comportamento de tal modo que gere lucros superiores aos obtidos por um comportamento competitivo agressivo. Esta alteração de comportamento introduz uma descontinuidade na curva de reacção da firma.

### 3º segmento da curva de reacção – a linha encontra-se congestionada no sentido do mercado doméstico

Borenstein et al, definem então o comportamento competitivo passivo como a situação em que a firma permite a entrada de  $K$  unidades de produção no seu mercado nativo – logo a linha fica

---

<sup>18</sup> A melhor resposta ao comportamento da firma rival quando a linha está descongestionada é definida na respectiva curva de reacção Cournot. Contudo, sendo a capacidade de transporte suficientemente pequena adoptar esta reacção pode conduzir a um novo congestionamento, traduzindo-se potencialmente num preço anormalmente baixo no respectivo mercado. Nessa medida, a curva de reacção de cada firma na zona descongestionada da curva de procura é definida conforme exemplificado na figura 4.5.

<sup>19</sup> Inferior ao nível de produção atingida no equilíbrio de Cournot. Borenstein et al. (2000), no seu lema 4, demonstram que este ponto existe, é único e crescente em  $K$ .

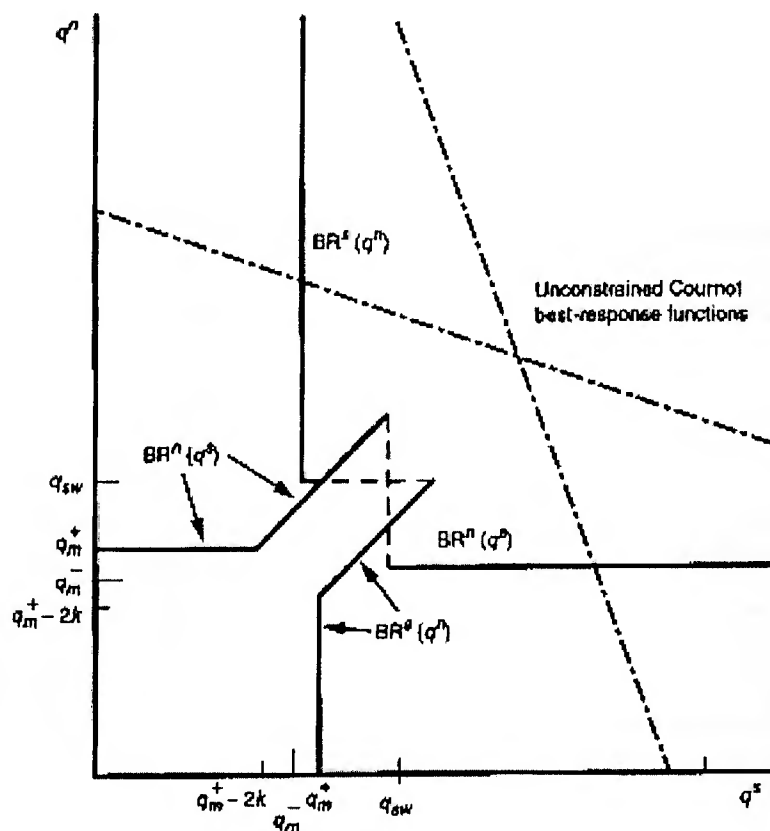
congestionada, e define o seu óptimo na função de procura inversa  $P(Q+K)$ . A resposta óptima da firma quando adopta um comportamento competitivo passivo não acomoda por completo a quantidade  $K$  que entra no seu mercado nativo face à quantidade que produziria em monopólio.

**Lema 3:** quando uma quantidade  $K$  é enviada para o mercado de um monopolista, a sua resposta óptima passiva resulta numa quantidade total no mercado (incluindo a quantidade importada  $K$ ) superior à quantidade de monopólio, ou seja,  $q_m^-(K) + K > q_m$ .

A demonstração deste lema é igualmente simples: assumindo que o monopolista ajusta a sua quantidade de modo que  $q_m^-(K) = q_m - K$ , produz necessariamente uma quantidade inferior à que produziria em monopólio. Sendo a função de custos marginais não decrescente na quantidade produzida tal significa que nesta situação estará a realizar um lucro marginal positivo, ou seja, que não se encontra no seu ponto óptimo, ponto esse que é obtido com um nível de quantidade superior. Define-se então que a reacção óptima em comportamento competitivo passivo é uma quantidade  $q_m^-(K) > q_m - K$ . Este facto tem como consequência que o preço em comportamento passivo é inferior ao que se obteria em monopólio, sendo  $q_m^-(K) + K > q_m$ . Para quantidades superiores a  $q_{sw}(K)$  a firma adopta a quantidade  $q_m^-(K)$  como reacção óptima, independentemente da quantidade que o seu rival jogar. Este resultado decorre da linha estar a ser utilizada no seu máximo – ou seja, qualquer que seja a quantidade jogada pela sua rival o limite de capacidade da linha impede que entrem mais que  $K$  unidades no seu mercado.

Figura 4.5 Curva de reacção de cada firma para uma linha de capacidade reduzida

BEST-RESPONSE FUNCTIONS FOR VERY SMALL LINE

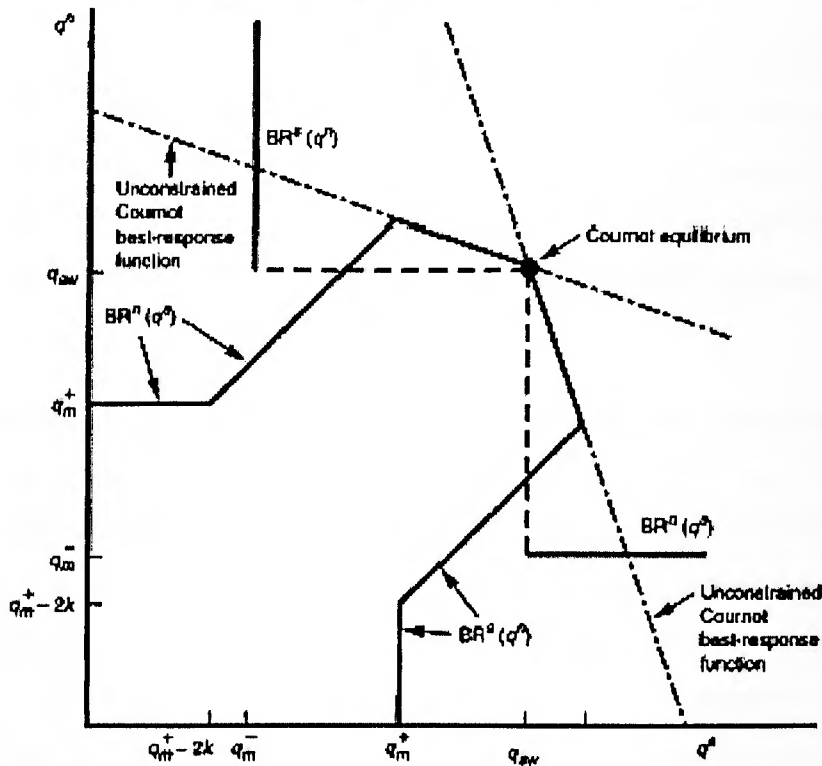


Fonte: Borenstein et al., 2000

Conforme identificado na figura 4.5, a curva de reacção de cada firma é definida em 3 segmentos. Os dois segmentos verticais devem-se ao facto dos mercados dividirem-se em zonas de preços quando a linha se encontra congestionada, sendo o equilíbrio específico a cada zona e independente entre zonas. O segmento não vertical ilustra a forma como cada firma se aproxima localmente do equilíbrio standard de Cournot quando a linha se encontra descongestionada.

Figura 4.6 Linha com capacidade  $K^*$  que permite o equilíbrio standard de Cournot

LINE CAPACITY ALLOWS FOR UNCONSTRAINED COURNOT EQUILIBRIUM



Fonte: Borenstein et al, 2000

Tratando-se de um duopólio simétrico as curvas de reacção são idênticas para ambas as firmas rivais. O estudo da existência de equilíbrio neste contexto é formulado em função de  $K$ .

Borenstein et al (2000), demonstram que para valores de  $K$  suficientemente pequenos as curvas de reacção de ambas as firmas nunca chegam a cruzar-se, como se demonstra graficamente na figura 4.5. Os autores demonstram igualmente que apenas a partir de quantidades de interligação superiores a  $K^*$  é que o resultado teórico de Cournot descongestionado é possível, como é exemplificado graficamente na figura 4.6. Os autores concluem então que com  $K$  inferior a  $K^*$ , qualquer ponto em que os preços em ambos os mercados são idênticos não satisfaz as condições de equilíbrio de Nash, porque haverá sempre uma firma disposta a mudar para o comportamento competitivo passivo antes que o equilíbrio de Cournot seja atingido. Borenstein et al. chegam assim ao principal resultado do seu estudo teórico, formulado no seguinte teorema.

**Primeiro Teorema:** Assumindo as hipóteses iniciais, o único equilíbrio em estratégias puras deste jogo é o equilíbrio do duopólio de Cournot sem congestionamento. Se  $K < K^*$  então o jogo não tem equilíbrio em estratégias puras.

Para provar este teorema os autores servem-se, em primeiro lugar, do lema 2, que demonstra que o único equilíbrio possível com uma linha descongestionada, ou seja, em que os preços em ambos os mercados são idênticos, é o equilíbrio de Cournot. Em segundo lugar, estes demonstram a impossibilidade de existência de um equilíbrio em que uma firma jogue o comportamento competitivo passivo e a sua firma rival jogue o comportamento competitivo agressivo.

O comportamento óptimo para a firma que adopte o comportamento competitivo passivo, como anteriormente demonstrado, é uma quantidade  $q_m^*(K) + K > q_m$ . Como visto anteriormente, a reacção óptima da firma rival será produzir exactamente mais  $2K$  unidades de produção, ou seja, produzir  $q_m^*(K) + 2K$ , adoptando em conformidade o comportamento competitivo agressivo. No mercado da firma com comportamento competitivo agressivo são consumidas  $q_m^*(K) + K$  unidades, sendo  $K$  unidades exportadas para o mercado da firma que adopta o comportamento competitivo passivo, onde o consumo é exactamente idêntico. A linha de transporte encontra-se a ser utilizada na sua capacidade máxima. Sendo as quantidades consumidas em ambos os mercados exactamente idênticas os preços serão em conformidade idênticos, uma vez que as curvas de procura são simétricas. Nesta situação o comportamento competitivo passivo adoptado pela firma não pode constituir a melhor resposta ao comportamento competitivo agressivo da sua rival: sendo os preços idênticos, as firmas simétricas e ambas a actuar em pontos distantes do equilíbrio descongestionado de Cournot, a firma que adopta uma quantidade inferior estará necessariamente a realizar ganhos inferiores; esta firma pode realizar ganhos acrescidos em mover-se do comportamento competitivo passivo e aproximando a sua produção da melhor resposta à Cournot descongestionado. Contudo, ao adoptar esse comportamento descongestiona a linha. A melhor resposta da firma ao comportamento da sua rival é então definida no segmento descongestionado da curva de procura. Contudo, não sendo possível atingir o equilíbrio de Cournot descongestionado – as curvas de reacção nunca chegam a intersectar-se, então o jogo não tem equilíbrio de Nash em estratégias puras.

Um jogo que não possua equilíbrio em estratégias puras tem em geral um equilíbrio em estratégias mistas. A noção de equilíbrio em estratégias mistas, para além de pouco intuitiva – os agentes randomizam sobre um set de estratégias puras sobre as quais estão indiferentes, é menos robusta que a de equilíbrio em estratégias puras e obriga muitas vezes que a leitura do jogo tenha que ser reinterpretada relativamente ao significado das estratégias e inclusivamente ao entendimento do que são os jogadores. A discussão do equilíbrio deste jogo em estratégias mistas foi realizada pelos autores. Sem identificarem o equilíbrio do jogo nestas circunstâncias, os resultados por estes apurados identificam uma relação inversa entre  $K$  e os preços de equilíbrio. A dedução infirma que para valores de  $K$  próximos de 0 os preços estarão próximos do resultado de monopólio. Para valores próximos de  $K^*$  os preços resultantes deverão aproximar-se de equilíbrio de Cournot com linha des congestionada.

Borenstein et al, no mesmo artigo, estenderam esta análise ao caso de um monopólio assimétrico, supondo que as procuras em cada mercado seriam assimétricas. Neste caso, as conclusões diferem do resultado proposto no teorema anterior. A suposição que as procuras são assimétricas induz necessariamente preços diferentes entre mercados operados segundo o regime de monopólio. Necessariamente identifica-se um mercado de preço alto e um mercado de preço baixo. Nestas condições, Borenstein et al, formulam o seguinte teorema:

**Segundo Teorema:** Assumindo as hipóteses iniciais, existe um equilíbrio em estratégias puras à medida que a capacidade de interligação se aproxima de zero se e só se o equilíbrio de monopólio em cada mercado isolado produz preços diferentes. Neste equilíbrio a capacidade de interligação é utilizada no seu máximo com um trânsito de potência do mercado de preço baixo (em regime de monopólio) para o mercado de preço alto (em regime de monopólio).

Este teorema define que para níveis de interligação reduzidos existe um equilíbrio de Nash-Cournot em estratégias puras em que a estratégia óptima da firma dominante no mercado de preço alto é adoptar o comportamento competitivo passivo. Este comportamento produz um impacto negativo nos seus lucros, contudo, é um impacto que tende para 0 à medida  $K$  tende para 0. O comportamento competitivo agressivo para esta firma, no contexto de um regime de preços nodais, significaria que a firma teria de subir a sua produção pelo menos até ao ponto em que o preço em ambos os mercados fosse idêntico. Este comportamento gera um impacto

negativo nos lucros da firma no mercado de preço alto que não tende para 0 à medida que  $K$  tende para 0. Com a existência de uma linha entre ambos os mercados a firma no mercado de preço alto terá sempre que ajustar o seu comportamento face à situação de monopólio. Contudo, para níveis de interligação suficientemente pequenos, o comportamento competitivo passivo é mais próximo nos preços e quantidades de equilíbrio do equilíbrio original de monopólio do que o equilíbrio gerado por um comportamento competitivo agressivo.

Para que exista um equilíbrio de Nash em estratégias puras em que uma firma adopte o comportamento passivo e a outra firma adopte o comportamento agressivo duas condições têm que ser verificadas:

- o preço no mercado da firma que adopte o comportamento competitivo passivo tem que ser superior ao preço no mercado da firma que adopta o comportamento competitivo agressivo;
- para a firma no mercado de preço alto, os lucros gerados pelo comportamento passivo são superiores aos lucros gerados pelo comportamento agressivo em que a firma descongestiona a linha.

À medida que a capacidade de interligação aumenta, contudo, o comportamento competitivo passivo adoptado pela firma no mercado de preço alto é susceptível de alterar-se. O impacto negativo nos lucros do comportamento competitivo passivo é crescente à medida que a capacidade de transporte entre mercados é incrementada. No fundo, a exposição competitiva externa é crescente; protagonizar uma estratégia competitiva passiva implica abdicar de quota de mercado – à medida que a interligação cresce mais quota de mercado se perde.

Os autores definem então um nível  $K^s$  a partir do qual a firma no mercado de preço alto decide mudar de comportamento. Dois cenários para o equilíbrio do jogo são possíveis de observar para diferentes níveis de interligação (Borenstein et al, 2000). Sendo  $K^s$  o nível de interligação em que a firma do mercado de preço alto decide mudar de comportamento e  $K^*$  o nível a partir do qual equilíbrio de Cournot descongestionado existe, os dois cenários possíveis são os seguintes:



Cenário 1:

- $0 < K < K^s$  existe um equilíbrio de Nash passivo/agressivo;
- $K^s < K < K^*$  não existe equilíbrio em estratégias puras<sup>20</sup>;
- $K^* < K$  existe um equilíbrio de Nash-Cournot descongestionado.

Cenário 2:

- $0 < K < K^*$  existe um equilíbrio de Nash passivo/agressivo;
- $K^* < K < K^s$  existem tanto o equilíbrio de Nash passivo/agressivo e o equilíbrio de Nash-Cournot descongestionado;
- $K^s < K$  existe apenas o equilíbrio de Nash-Cournot descongestionado.

No cenário 1, o ponto  $K^s$  a partir do qual a firma do mercado de preço alto opta por mudar de comportamento é inferior àquele que permite o equilíbrio de Nash-Cournot descongestionado. Quando a firma do mercado de preço alto muda de comportamento descongestiona a linha e os preços são idênticos entre mercados. Conforme demonstrado anteriormente, a partir do primeiro teorema, na zona descongestionada da linha, com preços idênticos entre mercados, o equilíbrio de Cournot só é possível para níveis de interligação superiores a  $K^*$ . O cenário 1 define assim a existência de um intervalo em que o comportamento competitivo passivo não é interessante para a firma no mercado de preço alto contudo o equilíbrio de Cournot descongestionado não é possível. Neste intervalo não existe equilíbrio em estratégias puras.

---

<sup>20</sup> Resultado que decorre do primeiro teorema – o equilíbrio com preços idênticos entre mercados só é possível quando a interligação atinge  $k^*$ .

O cenário 2 é designado por Borenstein et al como o *overlapping case*. Neste cenário, apesar de a partir de  $K^*$  o equilíbrio de Cournot descongestionado ser possível a firma no mercado de preço alto decide alterar o seu comportamento competitivo passivo apenas a partir do nível  $K^s > K^*$ . No *overlapping case*, o comportamento passivo/agressivo só será um equilíbrio de Nash se a firma que adopta o comportamento agressivo produz uma quantidade superior à que produziria em regime de equilíbrio de Cournot descongestionado.

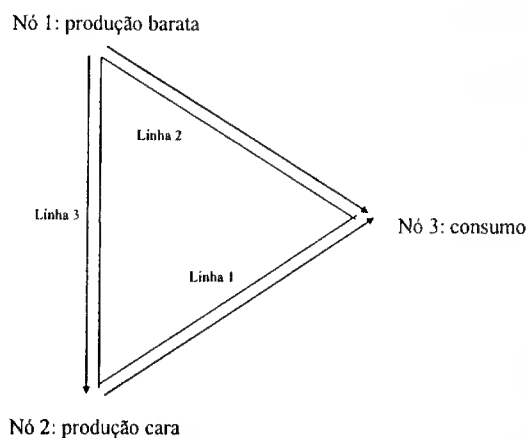
A principal conclusão do estudo de Borenstein et al é que um oligopólio com restrições de capacidade de transmissão pode na prática ser um conjunto de monopólios deficientemente integrados. O resultado do jogo, dependente da capacidade de transporte disponível, pode aproximar-se mais do resultado de um jogo de monopólio em cada zona da rede. Os diferentes tipos de comportamentos estratégicos estudados são igualmente de grande interesse face à observação empírica dos mercados eléctricos, nomeadamente o comportamento competitivo passivo e o comportamento competitivo agressivo. Este estudo demonstra igualmente como mesmo numa rede esquematizada na sua forma mais simples, complicando a estrutura de mercado, as condições de existência e unicidade de equilíbrio são significativamente alteradas face ao modelo simples anteriormente estudado para dois produtores partilhando uma mesma linha.

O interesse do estudo de Borenstein et al, reside ainda na identificação da relação óptima de capacidade de interligação que deve presidir à integração de mercados. Adaptando o modelo estudado ao caso da Califórnia estes determinaram o valor teórico de capacidade de transporte que deveria existir para definir pontos de equilíbrio sem congestionamento. É claro que a interpretação deste valor teórico deverá ser cuidada na medida é o resultado de um modelo de simulação de Cournot, cujas limitações já foram anteriormente expostas. Cunningham e Baldick (2002) estenderam o caso estudado por Borenstein et al. a uma rede com três nós e chegaram a conclusões semelhantes. A introdução do efeito de fluxo paralelo não altera por isso as conclusões formuladas por Borenstein et al. no esquema simplificado de rede em dois nós.

### *Extensão ao caso de uma rede com três nós e três linhas – a introdução do fluxo paralelo*

A extensão do jogo de Cournot com restrições de capacidade ao caso de uma rede com três nós e três linhas, configurada de forma malhada, permite acrescentar o efeito competitivo derivado do fluxo paralelo de potência. O caso estilizado da rede de transporte com linhas de impedância idêntica usualmente utilizado é exposto na figura 4.7.

**Figura 4.7 – Rede de três nós e três linhas**



Os fluxos de potência em cada linha  $z_i$ , assumindo o nó 3 como nó de swing, são definidos em função da potência injectada em cada nó, conforme o seguinte sistema de equações (ver Anexo 1).

$$\begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} q_1 + q_2 \\ 2q_1 + q_2 \\ q_1 - q_2 \end{bmatrix}$$

Stoft (1998) estudou os efeitos competitivos das restrições de capacidade suportados nesta representação esquemática, analisando em concreto um duopólio assimétrico de Cournot – sendo uma firma com custos marginais altos, situada no nó 2, e a outra uma firma com custos marginais baixos, situada no nó 1. O mercado encontra-se no nó 3 e existe um operador de sistema actuando em regime de nodal prices. A restrição de capacidade de transporte é imposta na linha 3 definida em K MWh. Nesta situação, o estudo de um duopólio simétrico seria de pouco interesse, na medida que no equilíbrio standard de Cournot ambas as firmas

produziriam quantidades idênticas. Neste contexto, o fluxo de potência ( $z_3$ ) na linha 3 seria nulo e a restrição não activa, como é possível verificar na equação que define o fluxo de potência nessa linha.

$$z_3 = q_1 - q_2 \leq 3K$$

No caso de um duopólio assimétrico, em equilíbrio de Cournot, as firmas não produzem quantidades idênticas. Se a diferença de quantidades for superior a  $3K$  então o equilíbrio standard de Cournot não é possível. Stoft demonstra que sendo este o caso este jogo não tem equilíbrio de Nash em estratégia puras. Com efeito, nenhum qualquer par de quantidades de produção ( $q_1, q_2$ ) em que a linha se encontra congestionada satisfaz a condição de equilíbrio de Nash.

Este resultado é determinado pela natureza do mecanismo de nodal prices. Sendo o duopólio assimétrico, o operador de sistema<sup>21</sup> deverá oferecer prioridade à produção da firma com custos marginais mais baixos, pelo que o fluxo de potência é direccionado do nó da firma com custos marginais mais baixos para o nó da firma com custos marginais mais elevados. Suponha-se um candidato a equilíbrio deste jogo, fornecido por um par de ofertas das firmas em que a linha 3 é utilizada na sua máxima capacidade. Ou seja, cada firma oferece quantidades ao mercado de tal forma que o fluxo de potência originado na linha 3 não ultrapassa a respectiva capacidade. Neste contexto, o preço é idêntico em todos os nós. Nesta situação a firma com custos marginais altos tem incentivos a agir estrategicamente no sentido de reduzir marginalmente a sua produção. Com este movimento induz um congestionamento na linha 3 o que conduz a um preço nodal mais elevado no respectivo nó. Contudo esta alteração induz um preço mais baixo no nó do seu rival. A reacção óptima da firma com custos marginais mais baixos será então reduzir a sua produção no sentido de evitar o congestionamento e obter um preço idêntico ao dos outros nós. Verifica-se, deste modo, que nenhum dos pares de quantidades em que a linha 3 está congestionada, ou seja, em que a

---

<sup>21</sup> Assumindo a mesma hipótese para o caso de uma pool em que as firmas licitam preços idênticos aos custos marginais e actuam estrategicamente nas quantidades.

relação  $q_1 - q_2 = 3K$  é obtida, satisfaz a condição de equilíbrio de Nash. Ao contrário da situação esquemática de uma rede com dois nós, este jogo não produz nenhum equilíbrio de Nash em estratégias puras.

Stoft demonstra contudo a existência de equilíbrio em estratégias mistas através de um problema complementar misto de optimização. Nestas condições o equilíbrio existe embora não seja único.

#### **4.4. O estudo dos efeitos competitivos dos direitos de capacidade de transporte**

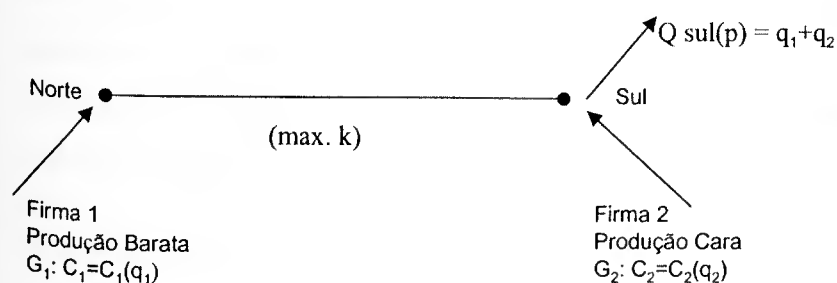
Joskow e Tyrole (2000) estudaram os efeitos competitivos de capacidade de transporte em contextos em que a gestão de congestionamento tem associada a contratualização de direitos financeiros de transporte ou de direitos físicos de transporte. Neste trabalho, a análise dos efeitos competitivos de restrições de transporte conjuga-se com os efeitos que se adicionam pela introdução de títulos transaccionados no mercado de transporte.

Um direito financeiro de transporte corresponde a um instrumento financeiro de gestão de risco associado a congestionamentos – descrito no capítulo anterior, transaccionado em leilão e que confere ao seu titular o direito financeiro à renda de congestionamento associada à diferença de preços entre nós. Trata-se de um instrumento que permite de forma efectiva cobrir o risco associado à volatilidade nas diferenças entre preços nodais, derivadas de condições de congestionamento altamente variáveis. Trata-se de um instrumento vocacionado para os agentes que se envolvem na contratação bilateral física, num modelo de mercado que preserva os princípios do despacho centralizado.

Um direito físico de transporte, assume, como a própria designação indica, o direito a utilizar uma certa quantidade de capacidade de transporte para suportar uma transacção. Este tipo de direito é transaccionado através de leilões sendo utilizado para fundamentar mercados baseados em transacções bilaterais físicas. O resultado financeiro deste título é contudo contrário ao do direito financeiro de transporte uma vez que o detentor do direito não recebe um fluxo de dividendos.

O jogo estudado pelos autores baseia-se numa representação esquemática de uma rede em dois nós (Norte e Sul). No nó Norte encontra-se uma firma competitiva com custos de marginais baixos. No nó sul encontra-se um produtor dominante com custos marginais altos e é neste nó que se encontra igualmente a procura. A linha que liga os dois nós tem uma capacidade limitada em  $K$ .

**Figura 4.9 Esquema estudado por Joskow e Tyrole**



Fonte: Joskow e Tyrole, 2000

A situação estudada configura uma posição dominante no nó Sul. O jogo estudado por Joskow e Tyrole (2000) assume que o jogador em Sul se comporta à Cournot.

O estudo de Joskow e Tyrole (2000) demonstra que se a firma dominante se comportar competitivamente a existência de direitos de transporte, físicos ou financeiros, é neutra do ponto de vista do equilíbrio de mercado. Contudo o mesmo não se passa quando a firma em Norte usa estrategicamente a sua posição dominante.

No caso dos direitos financeiros de transporte, a função objectivo da firma localizada em Norte assume duas componentes, que prefiguram dois tipos de incentivos. Por um lado, o incentivo de uma firma dominante que optimiza perante a curva de procura inversa residual tendo presente as restrições de capacidade de transporte a partir de outros nós/firmas rivais. Por outro lado, o incentivo derivado da posse de um contrato de direitos financeiros de transporte, cujo resultado financeiro depende da diferença entre preços nodais. Os direitos de transporte financeiros para a firma localizada em Sul tomam a forma de um contrato que gera o seguinte fluxo de rendimentos:

$F(P_{\text{Sul}}) = (P_{\text{Sul}} - P_{\text{norte}})K$ , sendo  $P_{\text{Sul/norte}}$  o preço em cada nó e  $K$  a quantidade de direitos financeiros de transporte adquiridos.

Os incentivos oferecidos à empresa serão então: restringir a produção subindo o preço no respectivo nó; maximizar a diferença de preços nodais. Configurado nestes termos, uma firma dominante em Sul tem incentivos em restringir mais a produção do que na situação em que não tinha direitos de transporte financeiros. Com efeito, neste caso, a diminuição potencial dos lucros derivada da restrição de produção é compensada pelos resultados financeiros dos títulos financeiros de transporte detidos. Joskow e Tyrole (2000) concluem que os direitos financeiros de transporte na posse de uma firma dominante na região importadora (Sul) agravam o seu poder de mercado na medida que oferecem incentivos adicionais em diminuir a sua produção.

Os resultados para os direitos físicos de transporte são semelhantes aos obtidos para os direitos financeiros de transporte, na medida que a sua posse por firmas dominantes pode agravar as condições para o exercício de poder de mercado. A principal diferença reside em que um direito físico de transporte não gera um fluxo de dividendos. Como ponto de partida para a análise efectuada, Joskow e Tyrole (2000) definem que uma firma dominante em Sul terá incentivos em tornar-se detentora de todos os direitos de transporte físico entre norte e sul no sentido de internalizar no seu processo de optimização as acções das firmas em Norte. Neste contexto os autores estudaram duas estratégias possíveis para o produtor dominante em Sul: i) vende direitos físicos de transporte à firma em Norte e produz em Sul; ii) compra energia à firma em Norte, e depois, usando os direitos de transporte físico na sua posse, despacha-a para Sul revendendo-a nesse nó. Em ambos os cenários o comportamento óptimo do produtor dominante em Sul envolve algum nível de restrição na utilização dos direitos físicos de transporte, de forma a que a produção vinda de Sul é inferior à capacidade máxima da linha. Ou seja, os direitos físicos de transporte não são totalmente utilizados. O cenário i) é aquele em que o exercício de poder de mercado pela posse de direitos de transporte é mais mitigado, na medida que vendendo os direitos físicos ao produtor em Norte não internaliza o impacto desta decisão no valor dos direitos de transporte.

Os resultados de um jogo com direitos de transporte físicos diferem por isso de um jogo com direitos de transporte financeiros. Um sistema de direitos físicos introduz a possibilidade de um produtor dominante adquirir direitos que não usa – açambarcando-os do mercado,

reduzindo a capacidade de transporte efectivamente disponível. Dessa forma consegue controlar a entrada de concorrentes no seu mercado. Esta situação conduz a uma diminuição do bem estar global e à ineficiência produtiva uma vez que não é possível maximizar a produção da firma mais barata em Norte. Com a posse de direitos físicos de transporte a firma com poder de mercado tem a possibilidade de impor preços mais baixos no nó em que estão as firmas competitivas. Comparativamente ao jogo com direitos financeiros de transporte, Joskow e Tyrole concluem que com direitos físicos de transporte a firma dominante em Norte consegue abusar dessa posição de forma mais efectiva.

Os autores estenderam a sua análise a redes de três nós, tentando explorar os efeitos de fluxos paralelos nas estratégias óptimas dos agentes. As conclusões não diferem significativamente daquelas obtidas a partir do exemplo estilizado de uma rede com dois nós, contudo, a análise deste tipo de situações torna-se mais complicada.

As recomendações que os autores formulam com base nestas conclusões são as seguintes:

- A aplicação do princípio regulamentar de *use-or-lose* aos direitos físicos de transporte. Ou seja, os direitos de transporte físicos não utilizados podem ser despachados pelo operador de sistema.
- Com direitos financeiros de transporte deverão ser proibidas estratégias do tipo ii) a produtores com posição dominante.
- O desenho dos mecanismos de alocação de direitos de transporte e a regulação da sua utilização deve prever a intervenção quando a concentração de direitos de transporte seja excessiva.

#### 4.5. Simulação de Mercados Eléctricos

A simulação de mercados eléctricos a partir de modelos de concorrência oligopolista compreende diversas classes de modelos, adaptados às circunstâncias específicas (estrutura horizontal de mercado e desenho de mercado) e ao horizonte temporal (curto prazo/modelos estáticos e médio e longo prazo/ modelos dinâmicos) que querem estudar. Quanto ao desenho de mercado, identificam-se os modelos em nó único, adaptados a mercados assentes nesta formulação, e os modelos multinodais, associados a mercados em que a resolução de congestionamentos é realizada em mecanismos de nodal prices ou market-splitting.



A literatura de modelos dinâmicos é bastante menos abundante que a de modelos estáticos. Um exemplo deste tipo de modelação é proposta por Smeers e Wei (1998). Esta situação reflecte as preocupações suscitadas no quadro da regulação do mercado eléctrico centradas sobretudo nas questões de poder de mercado no curto prazo.

O exercício de simulação de um mercado eléctrico de curto prazo incorpora as seguintes componentes:

- Uma hipótese quanto ao comportamento dos agentes (ex. Jogo de quantidades/Cournot ou o modelo funções de oferta);
- o método de determinação do equilíbrio (pool nó único, pool multinodal, mercado bilateral);
- as restrições de capacidade de produção;
- as restrições de capacidade de transporte, caso se trate de um modelo multinodal.

O problema de cada firma é deduzido a partir da lagrangeana resultante, sendo o equilíbrio determinado através da resolução das condições de Karush-Kuhn-Tucker. A resolução destas condições é usualmente obtida através do Mixed Complementarity Problem (MCP), com recurso a software como o GAMS – General Algebraic Modeling System.

A formulação Cournot, seja em modelos em nó único ou multinodais, é a mais correntemente utilizada para a análise de poder de mercado. Em simulação, o modelo de Cournot, face às condições inelásticas da procura tende a exagerar o poder de mercado que uma determinada estrutura horizontal empiricamente verificada possa suscitar. Como forma de compensar este tipo de comportamento, nos exercícios de simulação a partir de modelos de Cournot é usual adoptar-se procuras mais elásticas que as reais por forma a obter preços com maior aderência aos verificados nos mercados eléctricos.

A preocupação em afinar a modelação, por forma a obter uma maior aderência às condições competitivas de um mercado eléctrico suscitou o desenvolvimento de múltiplas abordagens alternativas à modelação de Cournot. Citam-se nomeadamente as abordagens anteriormente estudadas de Newbery et al – supply function; de Hobbs et al, - Conjectured Supply Function; a formulação Cournot-Stackelberg.

Os modelos multi-nodais são mais complexos, pois incorporam uma representação, esquemática ou mais próxima do real, da rede de transporte que serve o mercado. O estudo teórico de mercados eléctricos a partir de exemplos estilizados – redes com dois nós e com três nós mostram como as complexas interações no contexto de uma rede podem complicar significativamente a análise de um simples jogo de duopólio. Uma das principais conclusões a reter destes modelos simplificados é que o equilíbrio em estratégias puras não é único ou simplesmente não existe. Esta conclusão é igualmente evidente na maioria dos modelos que incorporam representações mais complexas da rede e da estrutura de mercado<sup>22</sup>.

A modelização incorporando redes multinodais incorpora situações de estrutura horizontal bastante mais complexas que as retractadas nos modelos teóricos simples, fazendo emergir outros tipos de comportamentos estratégicos. Em estruturas horizontais em que uma mesma firma dispõe de centrais produtoras em diferentes nós, esse tipo de comportamento pode incluir situações, em que (Hogan, 1997):

*Large firms could exercise horizontal market power by increasing their own production, lowering some prices, and exploiting the necessary feasible constraints in the network to foreclose competition from others.*

Trata-se de um tipo de comportamento contrário ao que é normalmente suposto em situação de comportamento estratégico, que envolve algum nível de restrição na oferta.

A compreensão do comportamento dos agentes passa então pela necessidade de incorporar representações mais complexas do sistema eléctrico.

Dois tipos de modelos em redes multinodais são possíveis de identificar na literatura específica sobre esta matéria. O primeiro tipo de modelo encara uma rede eléctrica como uma

---

<sup>22</sup> Smeers e Wey (1999) e Hobbs (2001) partem de hipóteses específicas que permitem equilíbrio único em redes multi-nodais. Tratam-se contudo de hipóteses pouco realistas, pois definem que os agentes não interpretam como a sua actuação condiciona o preço da capacidade de transporte.

rede de transporte tipo rodoviário. Os efeitos de fluxos paralelo não são incorporados neste tipo de modelação. Um segundo tipo de modelos, mais corrente, incorpora a rede na aproximação em corrente contínua. Tratam-se contudo de modelos mais complexos e de difícil resolução.

A modelação neste contexto recorre a diferentes hipóteses quanto ao desenho de mercado adoptado. Confrontam-se modelos que assumem sistemas de nodal prices/pool centralizado (Hogan, 1997) com modelos bilaterais (Hobbs, 2000 e 2001), conforme as propostas de Chao e Peck (1997). Neste último caso, é pressuposta a existência ou não de agentes que promovem a arbitragem de preços entre nós. Num modelo bilateral, ao contrário de um modelo de nodal prices, podem existir diferenças de preços entre nós superiores aos custos de transporte suscitados no mercado de transporte. Pressupondo a existência de agentes que promovam a arbitragem, estas diferenças de preços deverão reflectir apenas diferenças de custos de transporte. Hobbs (2000 e 2001), demonstram assim a equivalência formal entre um modelo de nodal prices e um modelo bilateral quando existem agentes que promovam arbitragem entre os preços de diferentes nós.

Os modelos propostos por Hogan (1997) e Hobbs et al (2001), partem igualmente de diferentes hipóteses quanto ao comportamento dos agentes. No modelo de Hogan é assumido que os agentes com posição dominante actuam como agentes Cournot e que existe uma franja competitiva *price taker*. O modelo assume assim a formulação Stackelberg/Cournot anteriormente analisada. Este modelo assume igualmente um mercado baseado numa pool em nodal prices e que os agentes Cournot assumem um comportamento estratégico face às restrições de capacidade de transporte, ou seja, identificam o impacto das suas decisões nos preços em diferentes nós. O modelo proposto por Hobbs et al. (2001), em contraste, assume que os agentes se comportam em conformidade com um modelo de Conjectured Supply Function no contexto de um mercado bilateral com um mecanismo de gestão de congestionamentos proposto por Chao e Peck (1997). Este modelo assume que os agentes se comportam como agentes price takers no mercado de transporte. Assumindo esta hipótese e funções de procura lineares, Hobbs et al (2001) demonstram que nestas condições o modelo tem um equilíbrio único em estratégias puras.

#### 4.6. Mitigação de Poder de Mercado

A mitigação de poder de mercado nos mercados eléctricos liberalizados compreende três formas principais de intervenção.

O primeiro grupo de formas de actuação enquadra os instrumentos contidos no próprio desenho de mercado, citando-se o exemplo de imposição de *price caps* nas ofertas ao mercado ou de contratos forward. Em pontos anteriores verificou-se ainda como a regulação da alocação e utilização dos direitos de transporte pode ser utilizada com o fim de mitigar poder de mercado originado por restrições de capacidade de transporte. Os contratos forward de energia são outro instrumento de intervenção disponível às autoridades de regulação. Uma vez assinado um contrato forward para um determinado horizonte temporal as firmas fixam um preço para uma determinada quantidade de produção. Para essa quantidade de produção, produtores / consumidores grossistas têm um preço fixo independente do preço praticado no mercado spot. Como refere Newbery (2002), quanto maior a cobertura contratual das transacções físicas por contratos forward menores os incentivos oferecidos às firmas dominantes em manipular o mercado spot. O problema deste tipo de actuação consiste em avaliar o preço, horizonte temporal e quantidades que deverão ser praticados nestes contratos.

Day e Bunn (2001) expõem teoricamente como um contrato por diferenças pode mitigar os incentivos à manipulação de uma pool. Estes contratos estruturam-se do seguinte modo. Uma firma  $k$  – um produtor – firma um contrato por diferenças com uma firma retalhista/distribuidora com um volume de electricidade  $x_{k,t}$  a um preço fixo forward  $fp_{k,t}$ , por um período  $t$ . Se o preço de mercado  $MCP_t$  for inferior ao preço fixo, então a firma retalhista/distribuidora paga à firma produtora a diferença entre os dois preços multiplicada por  $x_{k,t}$ . Se, pelo contrário, o preço de mercado  $MCP_t$  for superior ao preço fixo contratado, então a firma produtora paga à firma retalhista/distribuidora a diferença dos dois preços multiplicada por  $x_{k,t}$ . Embora seja na pool que as firmas definem efectivamente as quantidades transaccionadas, a partir destes contratos é oferecida a possibilidade de gerir o risco preço. Para que a cobertura de risco seja total a principal questão colocada às firmas será aproximar as quantidades efectivamente transaccionadas daquelas que foram definidas no contrato por diferenças. Este problema pode ser analisado para a firma produtora a partir da sua função de lucros. Nesta função, para além dos resultados financeiros gerados directamente pelas

transacções na pool acresce ainda os resultados financeiros do contrato por diferenças firmado avaliado em  $(fp_{k,t} - MCP_t)x_{k,t}$ .

A função de lucros da firma  $k$  para o momento  $t$ , sendo o volume de electricidade vendido na pool de  $gc_{k,t}$ , é então definida da seguinte forma:

$$\Pi_{k,t} = gc_{k,t} MCP_t - C(gc_{k,t}) + (fp_{k,t} - MCP_t)x_{k,t}$$

Uma vez que  $fp_{k,t}$  e  $x_{k,t}$  são constantes definidas à priori – as respectivas derivadas são nulas, do ponto de vista das condições de optimalidade da firma  $k$ , a função de lucros a otimizar pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\Pi_{k,t} = (gc_{k,t} - x_{k,t}) MCP_t - C(gc_{k,t})$$

Analisando esta função de lucros verifica-se que quanto maior for  $x_{k,t}$  maior terá que ser  $gc_{k,t}$  em termos óptimos. Ou seja, a firma  $k$ , na pool, tem incentivos a despachar mais produção e isso só pode ser atingido através de um comportamento mais competitivo. Supondo que é permitida a transacção bilateral, à margem da pool, quando se fixa o grau de cobertura dos contratos de diferenças naturalmente está-se a impor um nível mínimo de participação no mercado pool. Trata-se necessariamente de uma situação de compromisso entre a importância a oferecer à pool e ao mercado de contratos bilaterais físicos, jogando-se neste caso eficiência de curto prazo *versus* eficiência de longo prazo.

As soluções para mitigação de poder de mercado podem contudo ir mais longe interferindo directamente com a estrutura horizontal de mercado. Este tipo de intervenção configura o segundo grupo de formas de intervenção.

A imposição às firmas com peso dominante na produção de venda de capacidade produtiva, diminuindo a concentração horizontal do mercado, é um exemplo deste tipo de actuação. Esta forma de actuação foi seguida nomeadamente pela autoridade reguladora britânica na pool de E&W. Interferir na estrutura horizontal de mercado coloca contudo um conjunto de problemas. O primeiro prende-se em saber quanta capacidade produtiva a empresa dominante deve alienar a outros competidores. A resposta a esta questão pode ser parcialmente respondida através de modelos de simulação, contudo, os resultados fornecidos pelos modelos

tradicionais tendem a subestimar a capacidade de produção a alienar para definir uma estrutura horizontal competitiva (Hogan, 2001). O segundo problema prende-se com o cuidado que deve ser assumido nesta actuação, na medida que alienar capacidade produtiva limita potencialmente a exploração de economias de escala e de gama das firmas produtoras. A imposição de uma estrutura horizontal fortemente dispersa pode colocar problemas de sobrevivência financeira a determinadas firmas. Os leilões virtuais, aplicados com relativo sucesso em França, pretendem ultrapassar este tipo de problemas, uma vez que apenas se aliena a gestão dos activos e não a sua propriedade.

A imposição de investimentos na rede de transporte é outro tipo de actuação possível com efeitos na estrutura horizontal de mercado – quando dois mercados são efectivamente integrados as duas estruturas horizontais diluem-se numa só resultando necessariamente numa estrutura horizontal mais competitiva. Este é o princípio subjacente à criação na Europa do mercado interno de energia eléctrica. Os custos significativos do investimento em capacidade de transporte e a morosidade associada a estes projectos obsta a que este tipo de medida seja utilizada de forma mais abrangente. Acrescenta-se que a actividade de transporte, um monopólio natural, é regulada em regime de regulação da taxa de remuneração dos activos, mecanismo que se demonstra ineficaz num contexto em que as firmas são premiadas pela renda de congestionamento. O regime de regulação aplicado no mercado de E&W à empresa de transporte britânica NGC, fornece um exemplo de como incentivar as firmas a reduzirem os custos de congestionamento, contudo, não fornece sinais óptimos para a expansão óptima da rede (Leautier, 1999).

A criação de contextos favoráveis à entrada na produção surgem igualmente neste contexto como forma de interferir com a estrutura horizontal. Uma das formas de intervenção está contida na liberalização do gás natural. Sendo a entrada na produção preferencialmente realizada através das centrais de ciclo combinado, a criação de condições favoráveis de custo e acesso a esta fonte primária surge como factor de promoção de novos investimentos.

A última forma de actuação consiste em alterações ao desenho de mercado. Essas alterações podem ir desde alterações regulamentares pontuais, corrigindo potenciais deficiências no desenho de mercado – exemplo dos pagamentos de capacidade na pool de E&W, a alterações radicais do desenho de mercado, como por exemplo o verificado no mercado de E&W, em que

se transitou de uma pool obrigatória – o modelo de mercado onde o operador de mercado/sistema possui máximo poder, para o modelo de bolsa de energia – modelo bilateral por excelência. A adopção do regime de pay-as-bid associado à bolsa de energia é contudo uma matéria que não merece consenso entre os economistas que analisam a problemática do desenho de um mercado eléctrico, como visto em capítulos anteriores.

#### 4.7. Conclusões

Independentemente do modelo que se considere na análise de um mercado eléctrico, quanto mais concentrada a estrutura horizontal de mercado potencialmente mais acentuada será a divergência entre preços e custos marginais de produção predita em equilíbrio. Esta é uma conclusão que consensualmente parece ser obtida a partir dos diferentes modelos de oligopólio analisados neste capítulo. Os modelos diferem essencialmente quanto à extensão do exercício de poder de mercado que prevêm. As condições de procura modeladas – elasticidades procura preço muito baixas, a variável de decisão escolhida – preço, quantidade ou ambas, e as condições de existência e unicidade equilíbrio são os principais aspectos que diferenciam os modelos analisados no seu comportamento e predições.

A formação de congestionamentos nas redes de transporte joga um papel importante e determinante para o comportamento dos agentes económicos. Os congestionamentos fragmentam os mercados interferindo por essa via com a estrutura horizontal de mercado relevante. A definição geográfica dos mercados relevantes responde à forma como os congestionamentos afectam as redes: através do tempo e do espaço, conforme os congestionamentos se formam, assim se definem os mercados relevantes. A complexidade dos fluxos de potência numa rede e dos mecanismos de mercado adoptados para gerir congestionamentos tornam contudo bastante complexa a análise de mercado. A predição dos modelos teóricos define que perante congestionamentos (i) diversos tipos de estratégias poderão emergir e (ii) que as condições de existência e unicidade do equilíbrio são significativamente afectadas face à situação de mercados perfeitamente integrados.

## **5. MIBEL – EFEITOS COMPETITIVOS DAS RESTRIÇÕES DE CAPACIDADE DE TRANSPORTE ENTRE PORTUGAL E ESPANHA**

### **5.1. O MIBEL**

Em Novembro de 2001 foi assinado o protocolo de colaboração entre os governos português e espanhol no sentido da criação do Mercado Ibérico de Electricidade. Neste protocolo foi definido o conjunto de etapas tendentes à remoção dos obstáculos e convergência de procedimentos, inerente à criação de um mercado eléctrico comum e competitivo.

O MIBEL corresponde à integração de dois mercados com características diferenciadas quanto à sua dimensão e estrutura horizontal de mercado. Espanha corresponde a um mercado de dimensão superior a 220 TWh de consumo anual e onde duas empresas repartem 80% do mercado. Portugal regista um consumo anual superior a 42 TWh e onde o incumbente possui uma posição dominante.

Como condição fundamental para a criação do MIBEL, por forma a promover a efectiva integração de mercados, ficou definido o incremento da capacidade de interligação entre os sistemas eléctricos português e espanhol, através do reforço das linhas transfronteiriças. Trata-se de um processo faseado que permitirá até 2008, sendo os prazos cumpridos, incrementar significativamente a capacidade de interligação entre os dois sistemas, expondo as empresas nacionais de cada país a um contexto concorrencial mais agressivo.

O desenho de mercado futuramente a aplicar no MIBEL deverá adaptar o modelo de pool aplicado em Espanha desde 1998, ano da criação do OMEL, que se caracteriza aproximadamente nos seguintes termos:

- A direcção do mercado é responsabilidade de um operador de mercado – o OMEL, que diariamente equilibra oferta e procura definindo um programa previsional de transacções a tomar no dia seguinte;
- o operador de sistema – a REE, que tem por função a gestão da rede de transporte e a condução do mercado de serviços de sistema.

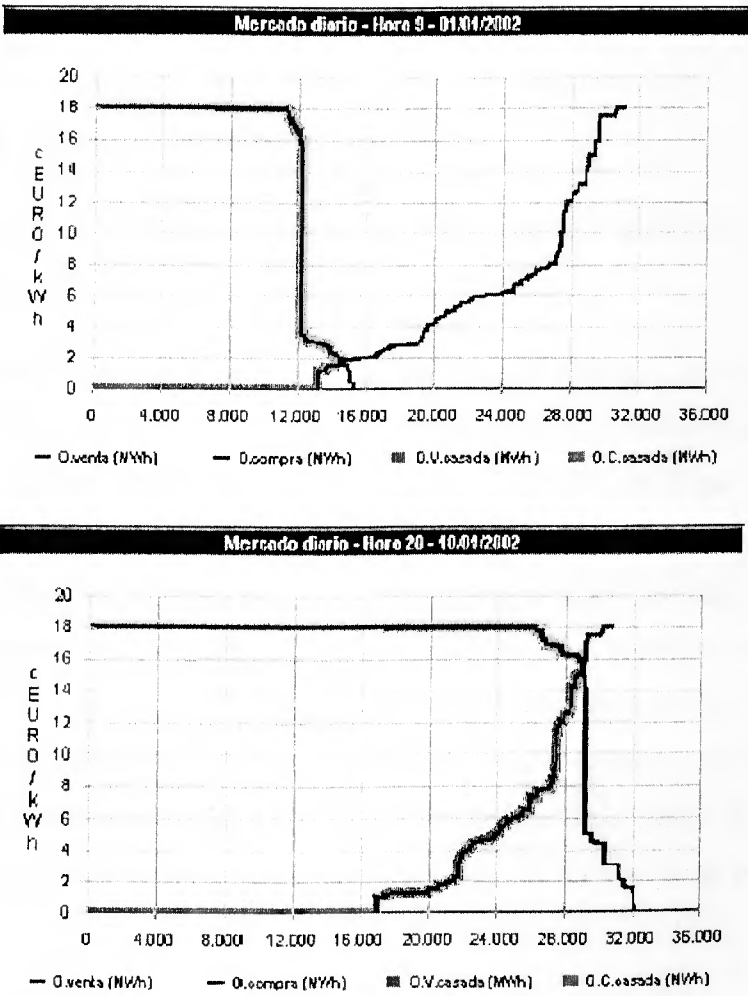


O modelo de mercado assenta numa pool semi-obrigatória, onde participam produtores, comercializadores e consumidores qualificados. A transacção bilateral física, à margem da pool, é permitida mas em condições particulares (OXERA, 2001), daí o estatuto de pool semi-obrigatória. O método de determinação do preço é realizado no modelo de pool em nó único, sendo os congestionamentos geridos através de correcção do despacho – redespacho – comunicado pelo operador de mercado ao operador de sistema. A definição das transacções para cada hora do dia seguinte tem presente as seguintes etapas (OMEL, 2002):

- O **mercado diário**, que ocorre até às 11 horas de cada dia, é o mercado em que se realizam a maioria das transacções. Nesse mercado devem participar todas as unidades de produção disponíveis e não vinculadas em contratos bilaterais físicos. O método de licitação é aquele citado no capítulo 3. A procura no mercado diário é formulada pelos distribuidores, comercializadores e consumidores qualificados de acordo com ofertas de compra.
- Uma vez celebrada a sessão do mercado diário, o operador de sistema, até às 14 horas de cada dia, avalia a viabilidade técnica do programa de funcionamento das unidades de produção fornecida pelo operador de mercado, tendo igualmente em consideração a produção definida em regime bilateral físico. Se o programa de produção não cumpre os requisitos de segurança – por exemplo, pela definição de potenciais congestionamentos, é aplicado o procedimento de solução de restrições técnicas – o redespacho, modificando o programa das unidades de produção no mercado diário. Define-se assim o **programa diário viável previsional**.
- Até às 16 horas de cada dia, no **mercado de serviços de sistema**, o operador de sistema define sobre o programa diário previsional, mediante as ofertas de potência a subir e a descer baseadas no preço marginal de sistema, a banda de regulação secundária para as unidades de produção participantes. O resultado é o **programa diário viável definitivo**.
- O **mercado intradiário** é um mercado de ajustes horários, convocado pelo operador de mercado, em que podem participar agentes do lado da oferta e do lado da procura que participaram no mercado diário e em transacções bilaterais físicas. Desenrola-se em seis

sessões, cada uma definida em aproximação à hora de aplicação do despacho. A primeira sessão ocorre com 28 horas de antecedência relativamente à hora de aplicação do despacho e a última com 9 horas de antecedência. A participação dos agentes tem apenas como requisito o respeito dos compromissos assumidos no mercado de serviços de sistema. O resultado deste mercado é o **programa horário definitivo**, em que se define o preço horário definitivo.

Figura 5.1 Método de determinação dos Preços de equilíbrio no mercado diário



Fonte: OMEL, Informe Mensuel, Enero 2002

O preço de energia para cada hora formulado na pool do OMEL tem associado aditivamente as seguintes componentes:

- o preço da energia formulado no mercado diário e corrigido no mercado intra-diário;
- o pagamento de garantia de potência, entendido com uma remuneração às firmas produtoras pela oferta de capacidade não utilizada mas fundamental para a garantia de fornecimento. Este preço é fixo e definido em função da hora/período do ano, de acordo com uma tabela pública;
- o custo dos serviços de sistema em cada hora.

O exemplo da forma como é determinado o equilíbrio preço / quantidade para cada hora é oferecido na figura 5.1.

## 5.2. Discussão do modelo de mercado do MIBEL

Tendente à criação do MIBEL identificam-se obstáculos dos dois lados da fronteira que deverão ser removidos.

Do lado Português temos os Contratos de Aquisição de Energia, de muito longo prazo, assinados entre a REN e as empresas produtoras portuguesas. A prevalência destes contratos num regime de mercado grossista organizado significaria que as firmas detentoras desses contratos não necessitariam de participar nos mercados oficiais para despacharem a sua produção. Na prática, esta situação teria como consequência que o mercado teria muito pouca energia para despachar. A resolução desses contratos é por isso condição necessária para que o mercado do lado português funcione. Essa resolução tem inerente o pagamento de compensações indemnizatórias às firmas titulares dos contratos. Em Espanha essas indemnizações são pagas através dos CTC – Custos de Transição para a Concorrência, num horizonte de 10 anos, que acrescem aditivamente às tarifas de transporte pagas por todos os consumidores.

Do lado Espanhol, temos a tarifa integral – que não reflecte aditivamente os preços da energia e das tarifas de transporte, distribuição e comercialização. No regime de tarifa integral os preços finais no retalho não liberalizado estabelecidos pelo regulador Espanhol são fixados politicamente sem ter em conta os preços praticados na Pool de Espanha. Esta situação gera o designado défice tarifário. Os distribuidores compram energia no mercado a preços altos e

recebem dos consumidores a tarifa integral, inferior à soma das componentes de preço final da energia. Esta situação tem duas consequências principais:

- As empresas distribuidoras acumulam um défice de exploração, situação semelhante à verificada na Califórnia e que em última análise conduziu à falência das empresas distribuidoras californianas; neste caso, os consumidores, mesmo aqueles que podem aceder livremente ao mercado, preferem manter-se no regime de tarifa integral, sendo esta mais barata que o preço total que pagariam no regime livre;
- O regime de tarifa integral e os reduzidos incentivos oferecidos a mudar para o regime livre conjugam-se no sentido de vedar potencialmente a entrada a empresas no mercado de retalho, actividade que no cenário actual tem reduzida viabilidade económica.

Paralelamente, o mecanismo de pagamento dos *stranded costs* praticado no OMEL representa outro factor de distorção da concorrência. Com efeito, este faz depender o pagamento deste custo da diferença entre o preço médio de mercado e uma previsão de preço, definida periodicamente. Quanto mais próximo os dois preços estiverem mais as empresas receberão. Este mecanismo define deste modo um sistema de incentivos às empresas que usufruem deste pagamento, vinculando-se ao preço predito. Neste contexto, o nível de preços verificado depende mais do mecanismo de pagamento dos *stranded costs* do que propriamente do nível de rivalidade competitiva e estrutura horizontal de mercado existentes.

O desenho de mercado de Espanha apresenta ainda outras deficiências. Comparativamente aos exemplos oferecidos por desenhos de mercado praticados em Inglaterra e Gales, quer no ambiente pool quer no ambiente NETA, ou pelo identificado no Nordpool, o desenho de mercado Espanhol define um mercado incompleto. Em primeiro lugar, assinala-se a inexistência de um mercado de derivados, o que não permite aos agentes participantes gerir o risco preço. Esta deficiência é em parte compensada, para as empresas que beneficiam de pagamentos de *stranded costs*, pelo mecanismo de pagamento praticado. Em segundo lugar, a ausência de um mercado standardizado de contratos bilaterais físicos, oferecendo um contexto casuístico e pouco transparente relativamente à forma como é negociada a contratação bilateral física.

A harmonização de procedimentos entre países e a evolução do desenho de mercado Espanhol, com a introdução de um mercado de derivados e um mercado standardizado de contratos bilaterais físicos são condições previstas nos sucessivos documentos que presidem à criação do MIBEL. Pressupõe-se igualmente uma harmonização do regime de tarifas de acesso à rede de transporte no sentido de evitar que as transacções entre Portugal e Espanha paguem cumulativamente o acesso às duas redes de transporte.

Aspecto de crucial importância refere-se ao método a adoptar para gerir a capacidade de transporte entre os dois sistemas. No regime actual, em que se assistem a métodos independentes de fixação de preços em cada sistema, o congestionamento na interligação é gerido através de leilões de capacidade. O método de racionamento da capacidade de interligação a utilizar no futuro deverá ser consistente com o modelo de mercado a adoptar. Como visto nos capítulos anteriores trata-se de matéria de grande complexidade e que apresenta alternativas perfeitamente distintas, com consequências importantes quanto:

- ao método de formação dos preços: uniforme para os dois países com redespacho ou counter trading, ou um preço para cada país aplicando um leilão implícito (ETSO, 2001), especificando um preço de energia e um preço de capacidade de transporte;
- ao método de alocação da capacidade de transporte na interligação às transacções bilaterais físicas: direitos de transporte transaccionados em leilões e em mercados secundários nos regimes bilateral puro ou pool/bilateral; uso vedado à capacidade de interligação – gerida em exclusivo pelo operador de mercado, no regime de market splitting na forma como é aplicado no Nordpool.

Outros aspectos em discussão quanto ao modelo do futuro MIBEL referem-se a (ERSE/CNE, 2002):

- Como remunerar a oferta de capacidade não utilizada mas essencial à garantia de fornecimento. No regime praticado no OMEL, como visto, este é pago através de um prémio sobre o preço final horário da energia.
- Que modalidade adoptar para a integração da produção em regime especial no mercado diário. Qual a pertinência de introduzir um regime de PRE despachável no

mercado e de outro não despachável? No fundo, identificar os potenciais efeitos competitivos que a participação da PRE no mercado poderia introduzir. Esta produção já atinge níveis elevados e previsivelmente deverá crescer significativamente face aos compromissos comunitários assumidos e aos sistemas públicos de incentivos actualmente postos em prática.

- A existência de tarifas de último recurso – com a elegibilidade oferecida a todos os consumidores coloca-se a questão de saber se se deverá impor a obrigatoriedade de escolha de um fornecedor de energia. A tarifa de último recurso define um regime de transição em que o consumidor não será necessariamente obrigado a tomar essa opção.

### **5.3. Estudo do comportamento competitivo do MIBEL**

O estudo das condições competitivas do futuro MIBEL merece grande relevo. A experiência do OMEL permite verificar em vários momentos a ocorrência de potenciais abusos de poder mercado, motivando a intervenção da autoridade de concorrência espanhola. A observação em geral dos mercados eléctricos permite verificar que mesmo com estruturas horizontais menos concentradas que aquelas observadas em Espanha se verificam condições para o exercício de poder de mercado.

Em Espanha, ENDESA e IBERDROLA são os dois produtores dominantes, com uma quota de mercado medida nas transacções verificadas de cerca de 80%. Em Portugal, o grupo EDP tem uma quota de cerca de 70% com base no mesmo referencial. Se considerarmos as quotas em termos de capacidade máxima produtiva instalada a apreciação difere em particular no caso português, com o grupo EDP a deter 82% da capacidade produtiva em regime ordinário instalada em Portugal. A diferença entre quota de mercado, medida nas transacções, e quota de mercado, medida na capacidade produtiva instalada, deve-se à disponibilidade variável das centrais hidro-eléctricas, em função dos regimes hidrológicos, e à produção em regime especial.

A estrutura horizontal de mercado em Espanha caracteriza-se aproximadamente num duopólio enquanto a estrutura de mercado em Portugal é claramente da existência de uma empresa dominante. A criação do MIBEL, se não considerarmos os limites de capacidade de transporte entre as duas regiões da península ibérica, tem por efeito a diluição das estruturas horizontais

de Portugal e Espanha numa só. Introduzindo nesta exposição os limites de capacidade de transporte, conforme os valores publicados pela REN e REE ao longo do ano de 2002, verifica-se que esta diluição de estruturas horizontais não é inteiramente possível.

Os valores típicos permitidos pela REN para a importação de energia de Espanha ao longo de 2002 oscilaram entre 500 MW nos meses de verão e 1300 MW nos meses de inverno. No dia de procura de ponta foram despachados através da rede de transporte<sup>23</sup> 7142 MW (REN, 2003) enquanto as importações permitidas à hora de ponta ficavam-se pelos 800 MW, cerca de 11% da procura de ponta registada. O grau de abertura do mercado português de electricidade é por isso relativamente reduzido. A capacidade de interligação varia ao longo do ano e não permite importar níveis significativos de energia.

A análise em sentido contrário torna ainda mais evidente a reduzida diluição das estruturas horizontais regionais no mercado ibérico. Os valores de importação permitidos pela REE<sup>24</sup> ao longo do mesmo ano oscilaram entre 100 MW nos meses de verão e 850/900MW nos meses de inverno (fora de horas de ponta). Face aos cerca de 37000MW de procura de ponta historicamente registados no sistema espanhol o MIBEL produz um impacto ainda menor ao verificado em Portugal.

---

<sup>23</sup> Nem toda a energia consumida é despachada através da rede de transporte. A produção em regime especial é incorporada na rede de distribuição. É por isso natural que os valores históricos máximos de procura registada no sistema eléctrico possa diferir do máximo histórico despachado pela rede de transporte.

<sup>24</sup> REN e REE utilizam critérios diferentes para calcular os valores permitidos de trânsito de potência na interligação. Em parte, tal é suscitado pelo facto da interligação ser suportada por mais do que uma linha, fazendo emergir o fenómeno de fluxo paralelo de energia. Esta situação torna mais complexo o cálculo dos trânsitos de energia permitidos na interligação e abre possibilidade de em função dos critérios de segurança adoptados os níveis de interligação determinados serem diferentes.

Com o reforço previsto da capacidade de transporte entre os dois mercados poderemos assinalar uma alteração ao quadro competitivo acima exposto. Para tal é também requerido a harmonização de metodologias na determinação dos valores de trânsito de potência permitidos na interligação. A REE, como visto, aplica cenários mais conservadores que os adoptados pela REN.

A capacidade limitada de interligação disponível é susceptível de produzir efeitos ao nível do grau de competição presente no MIBEL nas duas regiões ibéricas, matéria que ocupará a presente análise. Domínguez e Pérez-Arriaga (2003) analisaram os efeitos competitivos do incremento da capacidade de interligação entre Espanha e França, actualmente definidos em 1050 MW. As conclusões desse estudo assinalam como um incremento significativo da capacidade de interligação, provocando uma maior exposição competitiva externa, induziria uma quebra dos preços praticados na pool eléctrica de Espanha. O tema proposto na presente tese tem um fim semelhante, aprofundando no entanto os impactes da criação do MIBEL nas duas regiões ibéricas.

O objectivo desta análise, contextualizada especificamente no MIBEL, será responder às seguintes questões:

**Qual o nível de integração de mercados que a capacidade de interligação existente entre Portugal e Espanha permite? Como isso se traduz do ponto de vista do comportamento competitivo das firmas dominantes em cada região?**

**Sendo os mercados divididos, qual o impacte, no processo de formação de preços, da estrutura horizontal de mercado presente na região portuguesa do MIBEL?**

**Qual o nível de capacidade de interligação que deverá fornecer o suporte a um equilíbrio de mercado descongestionado?**

Como visto nos capítulos teóricos perante restrições de capacidade de transporte e estruturas horizontais de mercado concentradas é possível conjecturar diferentes tipos de comportamentos estratégicos. O comportamento competitivo passivo caracteriza-se no incumbente deixar entrar energia no seu mercado nativo até ao limite de capacidade de transporte e actuar como monopolista na curva de procura residual. No comportamento



competitivo agressivo, inversamente ao anterior, o incumbente decide entrar no mercado vizinho até ao limite de capacidade de transporte. Borenstein et al (2000) caracterizam as condições específicas em que um e outro comportamento podem ocorrer em equilíbrio. Com mercados assimétricos estes prevêem que sendo a capacidade de transporte suficientemente reduzida o equilíbrio deste jogo será aquele em que o incumbente no mercado de preço mais alto adopta o comportamento competitivo passivo. Quando uma mesma firma dispõe de capacidade de produção em diferentes zonas de rede outro tipo de comportamento pode emergir, conforme predito por Hogan (1997). Trata-se, por exemplo, da situação em que firma decide aumentar a produção / baixar o preço em determinadas zonas de rede por forma a impedir a entrada de competidores em outras zonas de rede e assim poder beneficiar de preços mais altos por via dos congestionamentos provocados pela sua acção nas diferentes zonas em que dispõe de capacidade produtiva.

O estudo do comportamento competitivo no MIBEL a seguir desenvolvido decorre de um modelo de concorrência oligopolística em que os agentes jogam quantidades, suportado na hipótese de Variações Conjecturais, estudada no capítulo 4. Para valores da constante de variação conjectural diferentes de 0, o caso particular do modelo de Cournot, este tipo de modelo tem como principal vantagem predições de preço mais bem comportadas que a do modelo de Cournot quando confrontado com as elasticidades procura/preço muito baixas verificadas nos mercados eléctricos. Como visto no capítulo 4, a constante de variação conjectural pode ser interpretada como o nível de rivalidade competitiva no mercado. Ensaaiaram-se quatro cenários distintos para os níveis de rivalidade competitiva, sendo um o cenário de concorrência perfeita, em que a constante de variação conjectural é  $\theta = -1$ . Os restantes valores utilizados para a constante de variação conjectural foram definidos de forma *ad hoc* a partir de interpretações dos preços produzidos pelo modelo. Esta forma de definir os níveis de rivalidade competitiva é discutível, contudo, considerou-se preferida a adoptar um modelo Cournot usando hipóteses irrealistas quanto aos níveis de elasticidade procura/preço, a abordagem usualmente utilizada para obter preços bem comportados na modelação Cournot. Não coube nesta análise identificar qual o nível de rivalidade competitiva que irá subsistir no mercado. Este dependerá de variados factores: a ameaça da entrada de novos concorrentes; o efeito sobre os preços da contratação a prazo; o efeito sobre a liquidez de mercado da contratação bilateral física; a ameaça da intervenção punitiva das autoridades sectoriais e de



concorrência; o mecanismo a aplicar para o pagamento dos stranded costs (como visto em Espanha este constitui um factor importante no desempenho competitivo do mercado). Com esta análise pretende-se antes saber como a rivalidade competitiva potencialmente interfere com a utilização da interligação e com a formação de congestionamentos identificando os possíveis efeitos competitivos que daí possam advir.

Com o fim de fornecer um *benchmark* comparativo quanto ao desempenho do MIBEL em contexto de concorrência oligopolística considerou-se ainda um quinto cenário, o cenário em que não existiam transacções de energia entre mercados. Este será denominado como cenário sem MIBEL: S/MIBEL.

O modelo adopta a abordagem de Borenstein et al (2000) à análise de dois mercados integrados por uma linha de capacidade limitada e baseada num regime de preços nodais/market splitting. O estudo desenvolvido pelos autores citados baseou-se na hipótese de comportamento à Cournot enquanto o estudo aqui desenvolvido suporta-se no modelo variações conjecturais. Os principais resultados apurados por Borenstein et al. permanecem contudo válidos mesmo num modelo de variações conjecturais. O estudo desenvolvido por estes autores suporta-se na interpretação comparativa dos resultados que emergem quando as firmas optam por actuar em diferentes segmentos da curva de procura: a procura do mercado nativo desviada para a esquerda no nível de capacidade de interligação existente quando a firma adopta um comportamento competitivo passivo; a procura agregada de mercado quando a interligação se encontra descongestionada; a procura do mercado nativo desviada para direita no nível de capacidade de interligação quando a firma adopta um comportamento mais agressivo que as firmas rivais do mercado vizinho, congestionando a interligação no sentido oposto do respectivo mercado. A hipótese comportamental aqui assumida deverá fazer diferir os resultados obtidos no estudo citado apenas quanto à extensão do poder de mercado exercido pelas firmas participantes. Com efeito, verificou-se que para níveis de rivalidade mais baixos, o modelo produz exactamente o mesmo tipo de resultados que os obtidos por Borenstein et al. (2000). O interesse desta abordagem é verificar que tipo de comportamentos são passíveis de registar em função dos níveis de interligação disponíveis.

A análise será conduzida para os valores de interligação disponíveis em 2002 – o cenário base, e procurará testar como cenários alternativos interferem nas situações de equilíbrio

identificadas no cenário base. Outro aspecto a estudar consiste em verificar como a posição accionista da firma EDP na firma Hidrocantábrego (HC) poderá potencialmente interferir no desempenho competitivo do MIBEL. Estudar-se-ão em concreto duas situações: a situação em que EDP e HC adoptam estratégias autónomas; a situação em que EDP e HC adoptam estratégias coordenadas de maximização dos lucros conjuntos.

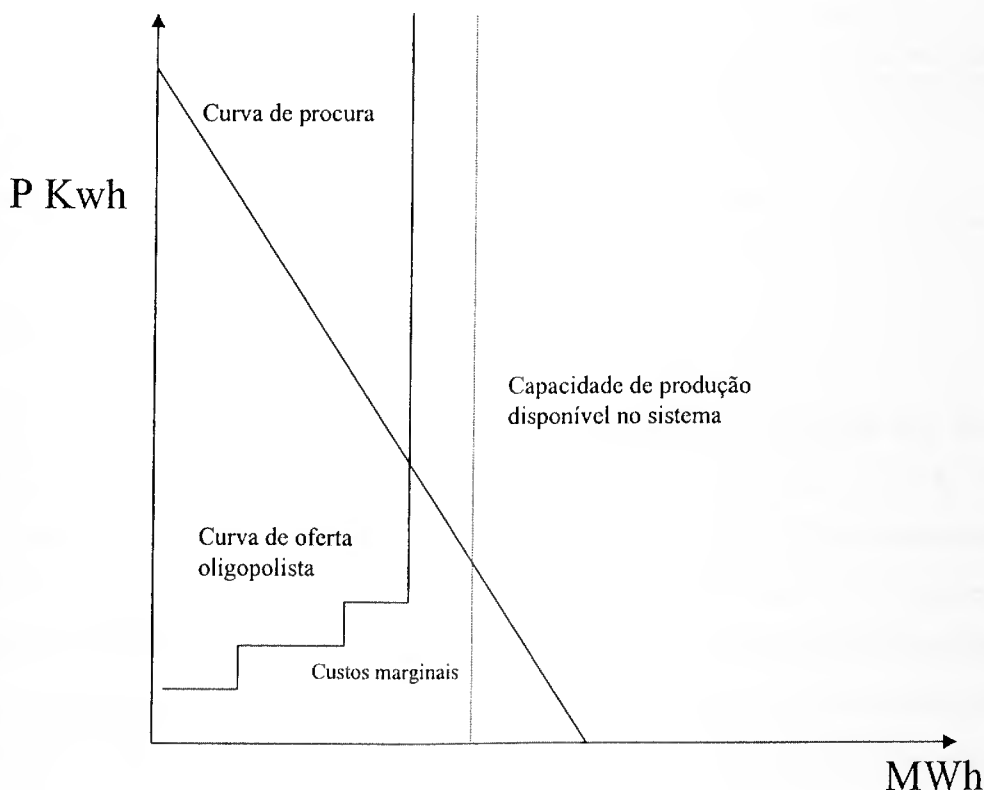
#### **5.4. O modelo de simulação do MIBEL**

O modelo simulará uma pool energética para os dois países considerando que os agentes adoptam um jogo de quantidades e supondo que as empresas antecipam algum nível de reacção da parte da concorrência, mensurada num constante de variação conjectural. O modelo utiliza diferentes cenários para os níveis de procura e para a disponibilidade dos meios de produção hidro-eléctricos. O resultado do modelo serão preços horários equacionados para as condições específicas da procura e oferta cenarizados. O modelo não incorpora os efeitos sobre a liquidez do mercado diário da transacção bilateral física nem os efeitos que possam advir de contratos de derivados. Também não incorpora os potenciais efeitos derivados dos mecanismos de pagamento dos stranded costs. O modelo também não estuda os potenciais efeitos de poder de mercado no mercado retalhista, que poderão suscitar situações de monopsonio ou oligopsonio. O modelo assume deste modo a hipótese que todas as transacções são integralmente veiculadas através da pool, como se de um regime de pool obrigatória se tratasse.

A participação dos agentes no mercado é formatada do seguinte modo. Numa pool é requerido aos agentes que formulem ofertas de preço e quantidade. Tratando-se de um jogo de quantidades é necessário formular uma hipótese quanto aos preços licitados. Como refere Stoft (1998), se os agentes licitam apenas quantidades o operador de mercado não tem condições para formular a ordem de mérito das unidades produtivas. No sentido de obviar este problema assume-se então que os agentes formulam as suas ofertas de preço ao custo marginal. Isto permite que os agentes formulem o jogo de quantidades recusando-se a produzir em situação de prejuízo.

A interpretação do resultado do jogo nestes termos é formulado na figura seguinte:

**Figura 5.2 Interpretação de um jogo de quantidades numa pool eléctrica**



Como a figura descreve, as quantidades ofertadas ao mercado apresentam-se restringidas face à capacidade de produção efectivamente disponível. Mesmo que os preços oferecidos ao mercado sejam equivalentes ao custo marginal, o nível de restrição operado induz preços claramente superiores aos custos marginais.

### ***Comportamento da procura***

Considerou-se uma curva de procura inversa linear com elasticidade procura preço de -0,01 no ponto de ancoragem – um par preço / quantidade.

As procuras de referência foram cenarizadas para três diferentes níveis – Alto, Intermédio, Baixo. As procuras foram escolhidas de forma a que o modelo produzisse em equilíbrio quantidades situadas hipoteticamente nos meses de Agosto, Outubro e Dezembro. Os níveis de procura e os preços de referência de ancoragem da curva de procura inversa são expostos na seguinte tabela:

**Tabela 5.1 Valores de referência para as funções de procura inversa a utilizar no modelo**

	Portugal		Espanha	
	Procura de referência (MWh)	Preço de referência (cent Euro / kWh)	Procura de referência (MWh)	Preço de referência (cent Euro / kWh)
Procura alta	7200	3	35000	3
Procura intermédia	6000	3	30000	3
Procura baixa	5000	3	27000	3

Fonte: Autor

### *Capacidade de interligação e Desenho de Mercado*

O modelo a estudar utiliza uma representação extremamente simplificada das duas redes, identificando apenas a capacidade de interligação entre os dois sistemas, definida de acordo com os valores de interligação publicados pela REE e a REN em 2002. Esta representação não incorpora os efeitos de fluxos paralelos presentes nas interligações entre os dois sistemas, que justificam, nomeadamente, a ocorrência de fluxos de trânsito na rede portuguesa originados na Galiza e destinados à região de Madrid. Esta representação utiliza antes os valores publicados no ano de 2002 pelos operadores de sistema como suporte à identificação das transacções permitidas entre sistemas. Nestes valores a importância dos fluxos paralelos já é considerada.

Na análise realizada ignorou-se a interligação entre o sistema espanhol e francês. Considerou-se deste modo a ausência de transacções entre França e a Península Ibérica.

Na abordagem realizada conduziu-se uma análise de sensibilidade dos resultados do modelo procurando aferir a partir de que quantidades de capacidade de interligação os agentes participantes no mercado alteravam o seu comportamento competitivo.

Os valores utilizados para a capacidade de interligação em 2002 foram apurados como os valores médios publicados pela REN e REE ao longo dos períodos de procura analisados. Supôs-se, por simplificação, que os valores de importação e exportação são simétricos, adoptando-se o valor que fosse superior. Os valores reportados reflectem a interferência no método de calculo de interligação de factores como temperatura e trânsitos de potência variáveis ao longo do ano nas duas redes. Os valores utilizados são reportados na tabela 5.2.

Tabela 5.2 Cenário base para a capacidade de interligação entre Portugal e Espanha

	Procura Alta	Procura Intermédia	Procura Baixa
Cenário Base (MW)	850	700	550

Fonte: REN, 2002, Médias simples apuradas para os primeiros 15 dias dos meses de Agosto, de Outubro e de Dezembro para as 18/19 horas

O modelo de simulação do MIBEL considerou como hipótese que os congestionamentos são geridos a partir do método de market splitting. É possível que não seja este o modelo a aplicar futuramente no MIBEL. O objectivo da presente tese não é discutir as vantagens e desvantagens de cada método em particular mas sim equacionar os efeitos competitivos das restrições de capacidade de transporte. A avaliação do método a aplicar deverá reflectir não só aspectos de natureza económica como aspectos de natureza técnica / engenharia, o que exige outro tipo de estudo. O mérito do método de market splitting para a presente análise é que permite mensurar explicitamente os custos de congestionamento impondo a condição de ganhos de arbitragem nulos: as diferenças de preços entre regiões reflectem apenas os custos de transporte na interligações implícitos no método de definição das transacções.

Convém notar que sendo as restrições de capacidade de transporte entre sistemas activas, independentemente do modelo utilizado para gerir congestionamentos, haverá necessariamente incentivos junto dos agentes que participam no mercado em as utilizar em seu favor. Num regime de nó único com counter trading ou redespacho os congestionamentos são corrigidos no mercado de serviços de sistema, sendo neste que são parcialmente reproduzidos os comportamentos estratégicos dos agentes que procuram beneficiar das restrições de capacidade de transporte. Num modelo bilateral com leilões de capacidade de transporte o comportamento estratégico incidirá sobre esse mercado em particular. A principal diferença entre métodos consiste na forma como os custos de congestionamento são reproduzidos nos preços finais da energia.

O modelo de *market splitting* a estudar funda-se nos princípios aplicados ao nível do Nordpool, tendo como significado que a capacidade de interligação é gerida em exclusivo pelo operador de mercado. Na ocorrência de congestionamentos nas interligações teremos assim a existência de preços diferenciados para Portugal e Espanha. Na prática, isso significa que o processo de formação de preços será parcialmente resultado do encontro entre oferta e

procura em cada uma das regiões, reflectindo, potencialmente, a estrutura horizontal de mercado presente em cada uma.

O modelo propriamente dito consiste numa pool com nodal prices, em dois nós / zonas. Para efeito da presente análise é assumida a equivalência entre os dois métodos de determinação dos preços (nodal prices / market splitting). Esta equivalência decorre do facto da gestão de capacidade de interligação entre os dois sistemas ser feita em exclusivo pelo operador de mercado e de organizarmos o mercado em duas zonas, como se dois nós se tratassem.

Como hipótese fundamental de um modelo de market splitting cada firma produtora recebe o preço determinado no respectivo nó independentemente dessa produção ser ou não consumida no nó. O operador de mercado gere o sistema substituindo produção cara da zona de preço alto por produção mais barata da zona de preço baixo no sentido de promover a aproximação de preços entre zonas. Hobbs (2001) identifica o comportamento do operador de sistema como o de um *arbitrager* que em função das diferenças de preços observados em cada mercado transporta energia entre as duas regiões até que uma de duas situações se verifique:

- Os preços entre as duas regiões são idênticos;
- A capacidade de interligação é esgotada e as diferenças de preços correspondem ao preço sombra da restrição de capacidade de transporte.

### *Tecnologias e custos de produção*

O modelo considera hipóteses simplificadas quanto aos equipamentos de produção. Os equipamentos foram agrupados por fontes primárias, conforme exposto nas tabelas seguintes, considerando os valores máximos de produção disponibilizáveis pelas centrais. As centrais que utilizam tanto fuel-óleo como gás natural foram classificadas na categoria de gás natural. Não se consideraram também as diferentes qualidades de carvão utilizadas pelas centrais. Trata-se de matéria de alguma importância uma vez que as centrais a carvão empregam diferentes qualidades de carvão com preços e conteúdos energéticos igualmente diferentes. Acrescenta-se que o carvão produzido nacionalmente em Espanha é subvencionado. Os valores fornecidos para as centrais hidro-eléctricas consideraram a capacidade máxima teórica de produção.

**Tabela 5.3 Produção em Regime ordinário - Capacidade teórica instalada em Portugal em MW, 2002**

	EDP	Turbogas	Tejo Energia	Total Portugal
Hidráulica	3989,2			3989,2
Nuclear				0
Carvão	1192		584	1776
Gás Natural	710	990		1700
Fuel Óleo	1378,3			1378,3
	7269,5	990	584	8843,5
Quota C.Prod. (%)	82,20	11,19	6,60	100,00

Fonte: ERSE, 2001

**Tabela 5.4 Produção em Regime ordinário - Capacidade de produção teórica instalada em Espanha em MW, 2002**

	HidroCantabrico	Union Fenosa	Iberdrola	Endesa	Total Espanha
Hidráulica	425,5	1795	8381	5366,9	15968,4
Nuclear	165,2	749	3270	3631,7	7815,9
Carvão	1587,8	2048	1246	6611,4	11493,2
Gás Natural	392,6	314	314	3158,9	3844,5
Fuel Óleo		471	2943	1820,8	5234,8
Total	2571,1	5377	16154	20589,7	44356,8
Quota C.Prod. (%)	5,80	12,12	36,42	46,42	100

Fonte: CNE, Relatórios e Contas das firmas referidas

Notas à tabela 5.4:

Consideraram-se apenas as principais centrais hidro-eléctricas. O valor em 2003 do total de centrais a fuel-óleo é menor ao indicado na tabela tendo em conta que muitas centrais foram convertidas para aceitar não só fuel como também gás natural. Os valores totais e por tecnologia referidos podem assim diferir daqueles publicados pela CNE e REE em Espanha para período idêntico. As diferenças são contudo de reduzida importância.

Na capacidade de produção referida da firma Endesa consideraram-se as firmas em que esta detinha uma participação maioritária (Compania Sevillana de Electricidade, SA e FEC,SA., Eneco, Elcogás )

As centrais nucleares em Espanha são participadas de forma cruzada entre as quatro principais firmas produtoras; o valor referido para cada firma nuclear é determinado a partir das respectivas participações accionistas; o mesmo se passa para algumas centrais a carvão. Assume-se que o processo de licitação no mercado reflecte as participações accionistas das firmas em cada central.

A EDP dispõe de uma participação accionista de 40% na firma HidroCantábrico desde 2002 conferindo-lhe o respectivo controlo operacional.

A representação estilizada dos equipamentos produtivos reflecte-se nas hipóteses assumidas quanto aos custos marginais. Assume-se que os custos marginais são constantes e diferem por tecnologia de forma a reflectirem a ordem de mérito que está usualmente subjacente à



utilização dos equipamentos produtivos. Assume-se ainda que os custos marginais por tecnologia não diferem entre países. Esta hipótese poderá considerar-se pouco realista, atendendo, por exemplo, às diferenças existentes entre países no preço do gás natural e em determinadas qualidades de carvão.

O modelo reconhece por isso de forma muito limitada as componentes de custo associados à gestão de centrais eléctricas. Note-se que o objectivo da presente análise é verificar os efeitos competitivos da capacidade limitada de transporte entre as duas regiões do MIBEL e não verificar como as restrições de operação dos equipamentos produtivos intervêm no comportamento estratégico das firmas. Um modelo com informação mais detalhada das características produtivas e económicas de cada central seria particularmente mais complexo e pouco adiantaria ao propósito a estudar. Acrescenta-se que esta informação é de natureza confidencial. Tendo isto em conta os preços que o modelo fornecerá não poderão considerar-se como preços reais.

Os custos considerados por tecnologia/fonte primária são expostos na tabela seguinte. Estes custos são valores de referência escolhidos a partir dos custos fornecidos pelo VGB (2003) e os preços competitivos apurados no estudo de Domínguez e Pérez-Arriaga (2003), que reflectem os custos marginais de produção. Devem ser entendidos com *guess estimates*.

Os custos marginais foram definidos entre 1,5 cêntimos de Euro/kWh, para a tecnologia hidro-eléctrica e 3,5 cêntimos de Euro /kWh para as centrais a fuel-óleo.

**Tabela 5.5 Custos marginais utilizados no modelo**

Tecnologias	Cent. Euro / kWh
Hidráulica	1,5
Nuclear	1,8
Carvão	2,5
Gás Natural	3
Fuel Óleo	3,5

Fonte: Autor

*Produção em regime especial*

No OMEL participam no mercado auto-productores e Produtores em regime especial cuja potência instalada seja superior a 50 MW. Pela sua reduzida dimensão e número elevado de

produtores – estrutura horizontal atomizada, considera-se que estes produtores comportam-se competitivamente, sendo o seu objectivo despachar o máximo de produção. Esta hipótese decorre também do contexto oferecido no OMEL, em que o prémio de capacidade que auferem é superior ao obtido pelas centrais em regime ordinário. Este tipo de produção é injectado nas redes de distribuição, não onerando em condições normais a rede de transporte<sup>25</sup>. No modelo a produção em regime especial foi definida como uma constante, definida a partir de uma previsão da participação dos produtores em regime especial no mercado. Para os diferentes cenários de procura os valores assumidos para a sua participação no mercado são os expostos na tabela 5.6. Estes valores constituem uma aproximação da participação da PRE no OMEL em hora de ponta, considerando sobretudo auto-produtores. Os valores para Portugal foram apurados de forma igualmente aproximada face à capacidade PRE existente e a sua participação na produção total.

**Tabela 5.6 Valores assumidos para a Produção em regime especial que participa no mercado grossista MWh**

	Portugal	Espanha
Procura alta	500	2500
Procura intermédia	500	2500
Procura baixa	500	2500

Fonte: Autor

**Produção hidráulica**

A capacidade de produção hidroeléctrica disponível foi cenarizada para diferentes níveis de disponibilidade máxima. Não se entrou em linha de conta com as diferenças entre centrais de fio de água e centrais de bombeio. Os valores de produção disponível foram definidos para os períodos de procura considerados somente para as horas de pico. A disponibilidade definida tem em conta apenas estas horas, não se aplicando às horas de baixa procura. A sua definição é de certa forma ad hoc, assumindo uma aproximação ao princípio de *peak shaving* na gestão

<sup>25</sup> quando a produção injectada na rede de distribuição ultrapassa o consumo nessa rede, dá-se a inversão do trânsito dos fluxos de potência. Apenas nestas situações a produção descentralizada entra na rede de transporte, ainda que parcialmente.

da produção das centrais hidro-eléctricas. Este princípio define que, com armanezabilidade limitada de recursos hídricos, a intervenção das centrais hidro-eléctricas é superior nos períodos em que os preços são mais elevados. Trata-se de uma estratégia de maximização dos lucros. Os valores utilizados são expostos a seguir:

Procura alta:	75% da capacidade máxima
Procura intermédia:	50% da capacidade máxima
Procura baixa:	30% da capacidade máxima

### *Comportamento das firmas produtoras*

O modelo utilizado segue de perto a formulação apresentada por Borenstein et al no artigo *The competitive effects of transmission capacity in a deregulated market*, 2001, analisado no capítulo 4.

O modelo proposto por estes autores para uma pool mereceu alguma adaptação. Em primeiro lugar, ao invés de uma estrutura horizontal de mercado caracterizada por um monopólio em cada região modelizou-se uma estrutura horizontal de mercado de oligopólio em cada região próxima da efectivamente verificada no ano de 2002. Tal significou ainda a necessidade de incorporar o caso de firmas que dispunham de capacidade produtiva nas duas regiões ibéricas, o caso da EDP, o que complicou a abordagem original proposta pelos autores.

Em segundo lugar, em vez da hipótese de comportamento à Cournot aplicou-se a hipótese de variações conjecturais estudada em capítulos anteriores, do qual o modelo de Cournot é um caso particular quando  $\theta = 0$ . O modelo cenariza diferentes níveis de  $\theta$ , correspondentes a diferentes níveis de rivalidade competitiva no mercado. Os valores de  $\theta$  a estudar serão pertencentes ao conjunto  $\{-1, -0.98, -0.97, -0.96\}$ . A leitura destes valores deve ser feita de forma conjugada com o valor de elasticidade procura/preço adoptada. Com efeito, apesar dos valores escolhidos serem muito próximos de  $-1$ , o cenário de concorrência perfeita, verifica-se que dado o nível de elasticidade procura/preço adoptado  $(-0,01)$  estes valores são suficientes para produzir preços substancialmente superiores aos preços competitivos. Como se verá, entre o valor  $-0.98$  e  $-0.96$  o modelo produz variações de preço superiores a 50%.

Neste modelo cada firma tem como variável de decisão a quantidade a produzir a partir de cada tecnologia, assumindo que as suas firmas rivais reagem ao seu comportamento

otimizador. Esta reacção é medida na constante de variação conjectural. Cada firma assume ainda que o operador de mercado – o *arbitrager* – reage ao seu comportamento otimizador. No fundo o jogo é jogado pelo conjunto das firmas e pelo operador de mercado. Quando a firma age no sentido de aumentar o preço na sua região assume que o operador de mercado procurará transportar energia da outra região no sentido de corrigir o diferencial de preços entre regiões que da actuação da firma possa resultar. As firmas reconhecem os limites de capacidade de transporte na interligação na capacidade do operador de mercado promover a arbitragem de preços regionais.

As variáveis do presente modelo face ao modelo original foram reinterpretadas para o caso de uma pool com market splitting. As variáveis do modelo, em que  $F$  designa a firma,  $R$  a região e  $I$  a tecnologia de produção, são as seguintes:

$x_{FIR}$  – produção da firma  $F$  na região  $R$  e com tecnologia  $I$

$s_{FR}$  – a oferta da firma  $F$  na região  $R$ , correspondente à soma da produção a partir das diferentes tecnologias que dispõe;

$K$  – a quantidade de interligação disponível

$p_{eR}$  – o preço de equilíbrio em cada região

$P$  – o preço de equilíbrio quando não se observam congestionamentos

$P_{R0}$ ,  $Q_{R0}$  – preço e quantidades de referência da função de procura; note-se que se assumiram preços de referência idênticos entre regiões.

$C_{FRI}$  – custo marginais constantes para a produção da firma  $F$  na região  $R$  e com tecnologia  $I$

$X_{FRI}$  - limite máximo de produção da firma  $F$  na região  $R$  na tecnologia  $I$

Numa pool multinodal o rendimento auferido por cada firma em cada região é determinado pelo preço recebido nessa região e pela produção realizada nessa região a partir das tecnologias aí instaladas. Note-se que o preço não tem relação directa com a produção nessa região mas antes com o consumo realizado na região. A diferença entre produção e consumo é exactamente a produção transferida entre regiões pelo operador de mercado no sentido de

promover a arbitragem de preços entre regiões. Com efeito, numa pool multinodal, o preço a que se vende a produção é determinado no nó em que se produz, independentemente dessa produção ser ou não consumida no nó. Quando produz, a firma vende a sua produção no nó sem conhecer o destino dessa energia – esse destino é determinado pelo operador de mercado. Este facto determina que exista uma equivalência entre a produção realizada em cada região e a oferta total de cada firma formulada nessa região. Esta equivalência não existiria caso estivéssemos a operar num mercado exclusivamente baseado em relações bilaterais. Nesse caso as relações contratuais assumidas poderiam determinar que existisse uma relação diversa entre produção no nó e oferta no nó.

Existindo equivalência entre produção e oferta em cada nó/região na função objectivo de cada firma eliminou-se, por simplificação, a representação da variável  $s_{FR}$ , assumindo que a relação  $S_{FR} = \sum_I X_{FIR}$  é satisfeita. Apesar da variável  $s_{FR}$  ser omitida esta está implícita na formulação da função objectivo de cada firma, nomeadamente quando se calculam as derivadas em ordem às variáveis de produção a partir de cada tecnologia. Esta formulação matemática do problema é semelhante à adoptada por Hobbs (2000) ao estudo de uma pool.

Conforme a abordagem adoptada por Borenstein et al (2000), o problema de cada firma será determinado em função do segmento de procura que a firma enfrenta, determinado em função do nível de produção das suas rivais no mercado vizinho. A função objectivo do problema de optimização de cada firma, considerando como região 1 – Portugal e como região 2 – Espanha, é definida em três segmentos como:

$$\left( \sum_{F \in F^*, RI} x_{F \in F^*, RI} \right) = \begin{cases} \left[ P_{10} - (P_{10}/Q_{10}) (\sum_{F \in F^*} x_{F1} + K) \right] (\sum_{F \in F^*} x_{F1}) + \left[ P_{20} - (P_{20}/Q_{20}) (\sum_{F \in F^*} x_{F2} - K) \right] (\sum_{F \in F^*} x_{F2}) - \sum_{RI} C_{FRI} x_{FRI} & \text{se a linha se encontra congestionada de Espanha para Portugal} \\ \left[ P_0 - (P_0 / (\sum_{RI} Q_{RI})) (\sum_{RI} x_{FRI}) \right] (\sum_{RI} x_{FRI}) - \sum_{RI} C_{FRI} x_{FRI} & \text{se a linha se encontra descongestionada} \\ \left[ P_{10} - (P_{10}/Q_{10}) (\sum_{F \in F^*} x_{F1} - K) \right] (\sum_{F \in F^*} x_{F1}) + \left[ P_{20} - (P_{20}/Q_{20}) (\sum_{F \in F^*} x_{F2} + K) \right] (\sum_{F \in F^*} x_{F2}) - \sum_{FRI} C_{FRI} x_{FRI} & \text{se a linha se encontra congestionada de Portugal para Espanha} \end{cases} \quad (5.1)$$

$$\text{s.a.} \quad x_{RFI} \leq X_{RFI} \quad (\rho_{RFI}) \quad \forall I, R \quad (5.4)$$

$$x_{RFI} \geq 0 \quad \forall I, R \quad (5.5)$$

No primeiro segmento (5.1), as firmas em Portugal enfrentam uma curva de procura residual desviada para a esquerda em  $K$  unidades e as firmas em Espanha uma curva de procura residual desviada para a direita em  $K$  unidades. Esta é a situação que ocorre quando as firmas espanholas no seu conjunto se comportam de forma mais competitiva que as portuguesas, congestionando a linha no sentido Espanha Portugal. No terceiro segmento (5.3) a situação estudada é simétrica da evidenciada em (5.1). No segundo segmento a linha encontra-se descongestionada e as firmas em ambos os mercados enfrentam uma curva de procura que resulta da agregação das duas curvas de procura regionais. O problema assim formulado define três jogos distintos. A identificação de qual o segmento relevante a estudar depende das hipóteses colocadas quanto ao comportamento das firmas em cada mercado:

- Nas expressões 5.1 e 5.3 assume-se como hipótese que o operador de mercado transfere  $K$  unidades de energia entre mercados. O sentido de trânsito na interligação definirá aqui qual a expressão relevante, conforme o anteriormente exposto. As firmas definirão os seus comportamentos competitivos acomodando a transferência de  $\pm K$  unidades de energia na curva de procura residual com que se defrontam. Esta hipótese só faz sentido quando a transferência de  $K$  unidades de energia é insuficiente para anular as diferenças de preços entre mercados.
- Na expressão 5.2 assume-se a hipótese que existe capacidade ilimitada de transporte. Nesta expressão as firmas de ambos os mercados enfrentam a procura no mesmo segmento da curva de procura. Esta hipótese tem como significado que nenhuma firma tem capacidade de tirar partido estratégico das restrições de interligação. Esta hipótese só será válida se a transacção entre mercados identificada em equilíbrio for conforme a capacidade de interligação efectivamente existente.

As restrições do problema de optimização, condições 5.4 e 5.5, prendem-se com os limites mínimos e máximos a impor às variáveis de produção a partir de cada tecnologia.

As condições de KKT para este modelo são as seguintes:

Para  $x_{FRI} \forall I, R$ :

A firma F vê a produção de cada tecnologia I como uma componente da sua oferta na região R, sendo  $S_{FR} = \sum_I X_{FIR}$ . A derivada da Lagrangeana em ordem a  $x_{FIR}$  assume implicitamente que a variável  $S_{FR}$  está representada nessa função. Conforme a hipótese de variações conjecturais, cada firma assume um certo nível de reacção ao seu comportamento optimizador, medido na constante de variação conjectural  $\theta$ . Esta constante corresponde à derivada da variável de oferta das firmas rivais em ordem a  $x_{FIR}$ . A variável  $\rho_{FRI}$  define o preço sombra da restrição de capacidade de produção da firma F na tecnologia I na região R e a variável  $C_{FRI}$  o custo marginal de produção. Em equilíbrio define-se deste modo a condição de lucro marginal nulo como é possível observar nas equações 5.6 a 5.8.

Como visto anteriormente, as derivadas são definidas em função do segmento de procura que as firmas enfrentam, determinando as seguintes condições de óptimo:

No segmento em que a linha se encontra congestionada de Espanha para Portugal:

$$P_{01} - (P_{01} / Q_{01}) \left[ (2 + \theta) \sum_I x_{F=F^*, RI} + \sum_{I, F} x_{F \neq F^*, RI} + K \right] - C_{FRI} - \rho_{FRI} = 0 \perp x_{FRI} \geq 0 \quad (5.6)$$

No segmento em que a linha se encontra descongestionada:

$$P_0 - (P_0 / \sum_0 Q_{R0}) \left[ (2 + \theta) \sum_{RI} x_{F=F^*, RI} + \sum_{RI, F} x_{F \neq F^*, RI} \right] - C_{FRI} - \rho_{FRI} = 0 \perp x_{FRI} \geq 0 \quad (5.7)$$

No segmento em que a linha se encontra congestionada de Portugal para Espanha:

$$P_{01} - (P_{01} / Q_{01}) \left[ (2 + \theta) \sum_I x_{F=F^*, RI} + \sum_{I, F} x_{F \neq F^*, RI} - K \right] - C_{FRI} - \rho_{FRI} = 0 \perp x_{FRI} \geq 0 \quad (5.8)$$

Para  $(\rho_{RFI}) \quad \forall I, R$

$$x_{RFI} \leq X_{RFI} \perp \rho_{RFI} \geq 0 \quad (5.9)$$

As condições de Karush Khun Tucker do modelo – as equações 5.6/5.7/5.8 e 5.9 definem um sistema de equações e foram escritas em GAMS, formulando o problema na forma standard de

um Mixed Complementary Problem (ver Anexo 2). A solução foi obtida através da aplicação do solver PATH fornecido com este programa.

### *Condições de equilíbrio do problema*

A resolução do problema acima descrito define a reacção óptima de cada firma em função do segmento de procura que enfrenta. As condições de equilíbrio do problema acima detalhado foram descritas no capítulo 4 e interessa aqui recordá-las invocando o caso de mercados assimétricos. O caso de mercado assimétricos surge neste contexto motivado pelo facto da estrutura horizontal de mercado diferir entre regiões, sendo mais concentrada em Portugal. Trata-se por isso de uma variante à situação estudada por Borenstein et al em que a assimetria de mercados derivava somente da existência de curvas de procura assimétricas.

A predição teórica neste contexto (maior concentração no mercado português), é que em regime de autarcia em cada mercado, ou seja, supondo a ausência de transacções entre mercados, se assista em Portugal a um preço mais elevado que em Espanha. No contexto de mercados assimétricos, Borenstein et al definem que para níveis de interligação suficientemente pequenos este jogo tem um equilíbrio de Nash em estratégias puras em que a firma dominante no mercado de preço alto (Portugal) adopta o comportamento competitivo passivo e a(s) firma(s) no mercado de preço baixo (Espanha) adopta(m) o comportamento agressivo. Este equilíbrio subsiste para níveis de interligação inferiores a  $K^s$ , definido como o nível de interligação a partir do qual a firma dominante na região de preço alto opta por mudar para um comportamento competitivo mais agressivo, definido no segmento descongestionado da curva de procura. Neste ponto os lucros gerados pelo comportamento passivo equivalem aos lucros gerados pelo comportamento em equilíbrio conjunto descongestionado, definido quando as firmas em ambos os mercados optimizam no segmento descongestionado da curva de procura (5.2).

O equilíbrio passivo / agressivo válido para níveis de interligação suficientemente pequenos é um equilíbrio de Nash em estratégias puras se se verificarem as seguintes condições:

- o preço no mercado da firma que adopte o comportamento competitivo passivo tem que ser superior ao preço no mercado da firma que adopta o comportamento competitivo agressivo;



- para a firma no mercado de preço alto, os lucros gerados pelo comportamento passivo são superiores aos lucros gerados pelo comportamento agressivo em que a firma descongessa a linha;
- se a firma que adopta o comportamento agressivo produz uma quantidade superior à que produziria em regime de equilíbrio de Cournot descongessado (esta condição só é exigida no overlapping case). Esta condição define que sendo possível o equilíbrio de Cournot descongessado, adoptar o comportamento agressivo versus o comportamento passivo da firma no mercado de preço alto constitui uma melhor resposta que escolher o comportamento de Cournot descongessado.

Na análise realizada por Borenstein et al (2000) dois sub-casos emergem. No primeiro sub-caso o nível de interligação  $K^s$  a partir do qual a firma dominante no mercado decide inverter o comportamento passivo é inferior ao nível de que permite a existência de um equilíbrio conjunto descongessado, definido como  $K^*$ . No intervalo de capacidade de interligação compreendido entre  $K^s$  e  $K^*$  não existe equilíbrio em estratégias puras.

No segundo sub-caso o nível de interligação  $K^s$  a partir do qual a firma dominante no mercado de preço alto decide inverter o comportamento competitivo passivo é superior ao nível que permite a existência de um equilíbrio conjunto descongessado. No intervalo de capacidade de interligação compreendido entre  $K^s$  e  $K^*$  a firma dominante no mercado de preço alto decide manter o comportamento passivo apesar do equilíbrio conjunto descongessado ser possível, o que deriva do facto desta ser a estratégia mais lucrativa. Este caso é designado por Borenstein et al (2000) como o *overlapping case*.

A análise desenvolvida procurou dar resposta às questões colocadas na introdução do tema da tese. Em primeiro lugar, verificar qual o comportamento óptimo dos agentes participantes no MIBEL face aos níveis de interligação praticados em 2002. Em segundo lugar, verificar quais os níveis de interligação que suportam um equilíbrio conjunto descongessado. Em terceiro lugar, verificar qual a sensibilidade do comportamento dos agentes participantes no MIBEL a cenários alternativos da capacidade de interligação. Por último, verificar como diferem os resultados entre o cenário em que EDP adopta uma estratégia ibérica conjugada com a firma Hidrocantábrico e o cenário em que EDP e Hidrocantábrico adoptam estratégias autónomas.

A metodologia adoptada para produção e análise de resultados segue de perto os passos metodológicos utilizados por Borenstein et al (2000) quando analisaram o caso empírico da Califórnia. Estes passos são:

1. Verificar as condições de assimetria presentes nos dois mercados relevantes no contexto do MIBEL. O objectivo deste passo consiste em verificar como se comportaria cada mercado em regime de autarcia e fornece suporte à determinação de qual o mercado que em contexto de market splitting seria candidato à situação de preço alto. Este resultado, como anteriormente referido, é definido como o cenário S/MIBEL.
2. Verificar quais os níveis de capacidade de interligação que dão suporte ao equilíbrio conjunto descongestionado. Basicamente este é o resultado que se obtém correndo o modelo na situação em que as firmas em ambos os mercados optimizam os seus resultados na zona descongestionada da curva de procura, formulada na equação 5.2. Este resultado é obtido supondo que existe capacidade ilimitada de interligação, ou seja, é o resultado que se obteria se a capacidade de interligação permitisse a perfeita integração de mercados e as firmas presentes nos dois mercados optariam por escolher a sua estratégia na zona descongestionada da curva de procura. Este resultado permite determinar qual o nível de interligação necessário existir para que um equilíbrio conjunto seja viável, que compara directamente com o cenário de interligação verificado em 2002. Determina-se assim se no cenário base para a capacidade de interligação um equilíbrio conjunto descongestionado é fisicamente viável.
3. Determinar o comportamento óptimo passivo da(s) firma(s) no mercado de preço alto com base nos níveis de interligação praticados em 2002. Para as firmas neste mercado este resultado compara directamente com o resultado anterior em termos de lucros obtidos. É possível desta forma aferir qual o comportamento óptimo para as firmas no mercado de preço alto – jogar o equilíbrio conjunto descongestionado ou jogar o comportamento competitivo passivo. O passo seguinte consistirá em avaliar se o comportamento óptimo apurado para as firmas em ambos os mercados satisfaz as condições de existência de equilíbrio de Nash colocadas por Borenstein et al. a um jogo deste tipo.

4. O último passo consiste em analisar como cenários alternativos para a capacidade de interligação interferem no comportamento óptimo das firmas no MIBEL. Mais concretamente pretende-se verificar a partir de que níveis de capacidade de interligação os agentes optam por mudar os comportamentos óptimos verificados nos pontos anteriores.

A análise acima descrita será conduzida com base nos parâmetros enunciados na apresentação das hipóteses. A análise incorpora diferentes cenários para os níveis de rivalidade competitiva e diferentes cenários para o comportamento das firmas EDP e HC, nomeadamente a adopção de estratégias concertadas ou a adopção de estratégias autonomizadas. No âmbito do modelo, a hipótese que as duas firmas adoptam estratégias concertadas foi analisada considerando a fusão das duas firmas numa só, correspondente, por isso, à situação em que as firmas maximizam os lucros conjuntos.

## 5.5. Análise de resultados

Antes de passar à análise dos resultados convém referir que os resultados valem as hipóteses que foram formuladas quanto ao modelo e desenho de mercado específico estudados. A análise a seguir realizada centrou-se sobretudo nos aspectos qualitativos do comportamento simulado do MIBEL, entendido face às hipóteses assumidas. Os elementos quantitativos apurados devem por isso ser entendidos a título meramente ilustrativo. Não se pretende com os resultados apurados obter uma representação fidedigna do comportamento do futuro MIBEL, mas antes obter indicações sobre comportamentos tendenciais.

### *Análise das condições de assimetria de mercados*

A análise das condições de assimetria de mercados foi obtida a partir do modelo supondo que as firmas enfrentavam apenas a curva de procura do respectivo mercado e que não existiam transacções entre mercados. Ou seja, supondo que o nível de capacidade de interligação entre mercados era nulo. Este resultado foi definido como o cenário sem MIBEL. Os resultados apurados a partir desta hipótese definem o equilíbrio de Nash em Variações Conjecturais que seria obtido no contexto de autarcia em cada mercado.

No cenário sem MIBEL (tabela 5.7) e com níveis de rivalidade inferiores à concorrência perfeita, o preço em Portugal é sempre superior ao de Espanha. As diferenças de preços rondam os 60% no cenário de procura alta, 50% no cenário de procura intermédia e 40% no cenário de procura baixa. Estes resultados reflectem sobretudo as diferenças de estrutura horizontal de mercado entre as duas regiões. Com efeito, apesar dos níveis de rivalidade competitiva simulados serem sempre idênticos entre mercados, a restrição operada pela empresa dominante em Portugal produz um maior impacte nos preços que aquela que as firmas espanholas em regime de duopólio conseguem determinar. Aqui interfere sobretudo o maior peso relativo na capacidade de produção instalada da firma EDP na região portuguesa.

Em regime de concorrência perfeita os preços entre mercados seriam igualmente distintos e igualmente superiores em Portugal. Neste cenário, a diferença de preços tem origem nas diferenças de portfolio de equipamentos produtivos entre regiões e não nas estruturas horizontais de mercado, uma vez que neste caso cada firma comporta-se como price taker. As

diferenças de preços assinaladas reflectem as hipóteses assumidas quanto à composição regional dos equipamentos produtivos e os custos marginais de cada tecnologia/fonte primária.

É ainda interessante notar como se comportam as firmas em cada mercado em equilíbrio de autarcia. Na região portuguesa apenas a firma EDP adoptou uma restrição na quantidade oferecida enquanto as firmas Turbogás e Tejoenergia despacharam a máxima produção disponível (sendo os preços em equilíbrio superiores aos respectivos custos marginais), adoptando em conformidade o comportamento competitivo. Na região espanhola apenas Endesa e Ibedrola operam uma restrição nas quantidades oferecidas, ao passo que Union Fenosa e Hidrocantábrico comportam-se de forma competitiva. Identifica-se, deste modo, quais as firmas dominantes e as firmas competitivas em cada mercado. Este tipo de comportamento evidenciou-se em todos os cenários estudados.

Em regime de autarcia em cada mercado, assistir-se-ia, deste modo, a preços mais elevados em Portugal. A leitura destes resultados permite assinalar duas conclusões importantes:

- Em primeiro lugar, a estrutura horizontal de mercado presente em Portugal define um regime concorrencial pouco competitivo, pouco favorável à criação de uma pool de energia isolada.
- Em segundo lugar, demonstra a existência de condições de assimetria entre mercados, derivada das diferenças de estruturas horizontais de mercado. O mercado português, sendo menos concorrencial, permite ao produtor dominante a imposição de preços mais elevados que os que são passíveis de obter em equilíbrio de autarcia no regime de duopólio presente na região espanhola.

Os resultados aqui apurados confirmam a predição teórica acima formulada quanto ao desempenho de cada mercado baseada apenas na análise das estruturas horizontais e situam-nos claramente no contexto de assimetria de mercados analisada por Borenstein et al (2000). Estes resultados fornecem-nos igualmente um benchmark para o comportamento competitivo do MIBEL, matéria que ocupará os próximos pontos.

Tabela 5.7 Desempenho de mercado em contexto de autarcia

	Cenário concorrência perfeita		Cenário mais competitivo ( $\theta=-0.98$ )		Cenário competitivo médio ( $\theta=-0.97$ )		Cenário menos competitivo ( $\theta=-0.96$ )	
	Portugal	Espanha	Portugal	Espanha	Portugal	Espanha	Portugal	Espanha
<b>Cenário procura elevada</b>								
Preço (cent. Euro / kWh)	3,5	3	7,678	4,883	9,706	6,008	11,696	7,132
Procura em cada região (MWh)	7188	35000	7087,725	34780,29	7039,049	34649,12	6991,308	34517,97
<b>Cenário procura intermédia</b>								
Preço (cent. Euro / kWh)	3	2,5	6,849	4,798	8,717	5,905	10,55	6,997
Procura em cada região (MWh)	6000	30050	5923,02	29820,18	5885,65	29709,47	5849	29600,32
<b>Cenário de procura baixa</b>								
Preço (cent. Euro / kWh)	3	2,5	6,442	4,854	8,113	5,973	9,752	6,945
Procura em cada região (MWh)	5000	27045	4942,627	26833,1	4914,777	26732,42	4887,462	26644,98

Fonte: Autor

*Equilíbrio conjunto descongestionado*

A determinação do equilíbrio conjunto descongestionado é realizada correndo o modelo na hipótese que as firmas em ambos os mercados optimizam o seu comportamento no segmento descongestionado da curva de procura e supondo que a capacidade de interligação entre mercados é ilimitada. A partir das transacções entre mercados registadas no equilíbrio determinado com base nesta hipótese identifica-se a capacidade de interligação que fornece suporte a um equilíbrio conjunto descongestionado. Este resultado compara directamente com os níveis de capacidade de interligação existentes no cenário base, identificado como a situação verificada em 2002. Este resultado permite deste modo verificar a viabilidade da existência de um equilíbrio conjunto descongestionado face aos níveis de capacidade de interligação existentes em 2002.

Note-se que este resultado, sendo viável em termos da capacidade de interligação efectivamente existente, não define necessariamente o equilíbrio de Nash do MIBEL em Variações Conjecturais. Como Borenstein et al. (2000) argumentam este resultado ignora os incentivos estratégicos em usar de forma lucrativa um congestionamento e que são demonstrados no *overlapping case* anteriormente descrito. Ou seja, o facto do equilíbrio conjunto descongestionado ser possível a partir de um determinado nível de capacidade de interligação não põe de parte a existência de um equilíbrio competitivo passivo vs competitivo

agressivo em que todas as firmas estejam melhor. A hipótese formulada para correr este modelo – a existência de capacidade de interligação ilimitada, parte do princípio que o equilíbrio descongestionado só faz sentido para os agentes participantes no mercado se não puderem tirar partido das restrições de capacidade de interligação. O seu valor para interpretação do comportamento teórico do MIBEL é por isso relativo.

Os níveis de interligação que devem presidir à ocorrência de um equilíbrio conjunto descongestionado dependem do nível de rivalidade no mercado, do facto da firma EDP adoptar ou não uma estratégia concertada com a firma Hidrocantábrico (HC) e dos níveis de produção hídrica disponíveis. No cenário de equilíbrio conjunto descongestionado a firma EDP, com HC ou sem HC, apresenta-se sempre como o terceiro produtor ibérico sendo o seu poder de mercado relativo inferior àquele que tem na região portuguesa considerada isoladamente. O poder de mercado relativo da firma EDP é também dependente da produção hídrica disponível na medida que é o produtor ibérico com maior proporção de capacidade instalada em centrais hidro-eléctricas. No cenário de equilíbrio conjunto descongestionado, a firma EDP comporta-se sempre de forma mais competitiva que os dois produtores dominantes em Espanha pelo que o sentido de trânsito na interligação faz-se no sentido Portugal-Espanha. O nível de capacidade de interligação exigido para suportar um equilíbrio conjunto com preços idênticos é contudo dependente da firma EDP adoptar ou não uma estratégia ibérica. Com estratégia conjugada com HC o seu poder de mercado relativo é maior do que seria se adoptasse uma estratégia separada. Nessa medida, tende a restringir mais a produção, sobretudo a partir das centrais menos eficientes presentes em Portugal, pelo que os níveis de interligação exigidos para suportar um equilíbrio conjunto são menores. Com estratégia autónoma da firma HC a firma EDP tende a produzir mais em Portugal uma vez que o poder de mercado percepcionado é menor. Logo, no caso de estratégias autónomas EDP / HC, os níveis de interligação exigidos para suportar um equilíbrio conjunto são superiores ao caso de estratégias concertadas.

No cenário de procura alta com estratégia conjugada EDP/HC os níveis de interligação exigidos para suportar um equilíbrio conjunto variam entre 195 MW e 1220 MW em função do nível de rivalidade no mercado. Quanto maior a rivalidade competitiva menor a restrição na produção operada pelas firmas dominantes em Espanha pelo que a produção de EDP

conjugada com HC tende também a ser menor – os níveis de trânsito de energia na interligação são por isso inferiores. Pelo contrário quanto menor a rivalidade mais os produtores dominantes restringem a sua produção e EDP/HC comportam-se de forma mais competitiva subindo a sua produção relativamente aos produtores dominantes em Espanha – cresce, desse modo, o trânsito de energia na interligação. No cenário de estratégias autónomas entre EDP e HC a firma EDP comporta-se de forma mais competitiva que no caso de estratégias concertadas uma vez que o poder de mercado percepcionado é menor. Os níveis de interligação exigidos no cenário de maior rivalidade competitiva ( $\theta=-0.98$  / 1009 MW) são por isso substancialmente superiores aos verificados no cenário em que a EDP adopta uma estratégia ibérica concertada com HC ( $\theta=-0.98$  / 195 MW).

Os preços em equilíbrio conjunto quando EDP concerta posição com HC são apenas ligeiramente superiores aos que se registam quando as duas firmas possuem estratégias autónomas.

**Tabela 5.8 Cenário de procura alta - Nível de capacidade de interligação que fornece o suporte a um equilíbrio conjunto descongestionado no MIBEL**

	Cenário concorrência perfeita ( $\theta=-1$ )		Cenário mais competitivo ( $\theta=-0,98$ )		Cenário competitivo médio ( $\theta=-0,97$ )		Cenário menos competitivo ( $\theta=-0,96$ )	
	Portugal	Espanha	Portugal	Espanha	Portugal	Espanha	Portugal	Espanha
Equilíbrio conjunto descongestionado com estratégia concertada EDP/HC								
Preço (cent. Euro / kWh)	3	3	4,543	4,543	5,3	5,3	6,095	6,095
Procura em cada região (MWh)	7200	35000	7162,964	34819,96	7144,791	34731,62	7125,724	34638,93
Capacidade de interligação necessária (MW)	232,1		195,064		906,222		1220,476	
Sentido de trânsito	Espanha ► Portugal		Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha	
Equilíbrio conjunto descongestionado com EDP/HC autónomas								
Preço (cent. Euro / kWh)	3	3	4,368	4,368	5,239	5,239	6,095	6,095
Procura em cada região (MWh)	7200	35000	7167,175	34840,44	7146,258	34738,76	7125,724	34638,93
Capacidade de interligação necessária (MW)	232,1		1009,563		1199,942		1220,476	
Sentido de trânsito na interligação	Espanha ► Portugal		Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha	

Fonte: Autor

No cenário de procura intermédia os níveis de interligação exigidos para suportar um equilíbrio conjunto são ligeiramente superiores aos verificados em cenário de procura alta, com uma excepção: no cenário de maior rivalidade competitiva ( $\theta=-0.98$ ) quando EDP actua conjuntamente com HC os níveis de exportação veiculados para Espanha são próximos de 0,



resultado que deriva dos produtores em Espanha adoptarem um comportamento mais competitivo (logo deixam menos espaço para a entrada de produtores rivais de Portugal) e de os equipamentos produtivos marginais em Portugal serem menos eficientes.

**Tabela 5.9 Cenário de procura intermédia - Nível de capacidade de interligação que fornece o suporte a um equilíbrio conjunto descongestionado no MIBEL**

	Cenário concorrência perfeita ( $\theta=-1$ )		Cenário mais competitivo ( $\theta=-0,98$ )		Cenário competitivo médio ( $\theta=-0,97$ )		Cenário menos competitivo ( $\theta=-0,96$ )	
	Portugal	Espanha	Portugal	Espanha	Portugal	Espanha	Portugal	Espanha
<b>Equilíbrio conjunto descongestionado com estratégia concertada EDP/HC</b>								
Preço (cent. Euro / kWh)	3	3	4,46	4,46	5,223	5,223	5,955	5,955
Procura em cada região (MWh)	6000	30000	5970,6	29854,24	6608,834	29124,37	7079,58	28565,86
Capacidade de interligação necessária (MW)	29,4		0,206		653,3		1138,673	
Sentido de trânsito	Espanha ► Portugal		Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha	
<b>Equilíbrio conjunto descongestionado com EDP/HC autónomas</b>								
Preço (cent. Euro / kWh)	3	3	4,31	4,31	5,089	5,089	5,911	5,911
Procura em cada região (MWh)	6000	30000	5973,793	29868,96	5958,22	29791,1	5941,787	29708,94
Capacidade de interligação necessária (MW)	29,4		962,385		1390,68		1407,113	
Sentido de trânsito na interligação	Espanha ► Portugal		Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha	

Fonte: Autor

**Tabela 5.10 Cenário de procura baixa - Nível de capacidade de interligação que fornece o suporte a um equilíbrio conjunto descongestionado no MIBEL**

	Cenário concorrência perfeita ( $\theta=-1$ )		Cenário mais competitivo ( $\theta=-0,98$ )		Cenário competitivo médio ( $\theta=-0,97$ )		Cenário menos competitivo ( $\theta=-0,96$ )	
	Portugal	Espanha	Portugal	Espanha	Portugal	Espanha	Portugal	Espanha
<b>Equilíbrio conjunto descongestionado com estratégia concertada EDP/HC</b>								
Preço (cent. Euro / kWh)	3	3	4,456	4,456	5,211	5,211	5,934	5,934
Procura em cada região (MWh)	5000	27000	4975,728	26868,93	4963,144	26800,98	4951,099	26735,94
Capacidade de interligação necessária (MW)	0		197,072		922,438		1340,385	
Sentido de trânsito	Espanha ► Portugal		Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha	
<b>Equilíbrio conjunto descongestionado com EDP /HC autónomas</b>								
Preço (cent. Euro / kWh)	3	3	4,3	4,3	5,047	5,047	5,84	5,84
Procura em cada região (MWh)	5000	27000	4978,339	26883,03	4965,877	26815,74	4952,659	26744,36
Capacidade de interligação necessária (MW)	0		1360,628		1585,223		1598,441	
Sentido de trânsito	Espanha ► Portugal		Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha	

Fonte: Autor

No cenário de procura baixa paradoxalmente os níveis de interligação exigidos para suportar um equilíbrio conjunto são superiores a qualquer um dos cenários anteriores. Este resultado deriva em grande medida da menor disponibilidade dos meios de produção hidro-eléctricos que tem um efeito fortemente penalizador sobre o poder de mercado relativo da firma EDP, especialmente se esta adoptar uma estratégia separada da firma HC. Neste contexto, o comportamento da firma EDP, com ou sem HC, é substancialmente mais competitivo pelo que os níveis que supostamente transaccionaria para Espanha, sendo viáveis, seriam muito superiores.

Os cenários de interligação determinados correspondem à situação em que as estruturas horizontais dos dois países se diluem numa só, obtendo-se níveis de concentração horizontal inferiores aos que se registam individualmente em cada região ibérica. Comparativamente ao regime de autarcia, no cenário de equilíbrio conjunto descongestionado os preços reduzem-se entre 90% a 70% em Portugal e entre 7% a 17% em Espanha, dependente dos cenários de procura e rivalidade competitiva considerados. Este resultado permite assinalar que a criação do MIBEL produz um impacto potencialmente superior na região Portuguesa. Resta contudo verificar se:

- Os níveis de capacidade de interligação verificados no cenário base permitem que o equilíbrio conjunto aconteça;
- Mesmo que o cenário base viabilize este equilíbrio, é importante estudar se não existe um equilíbrio do tipo passivo/agressivo em que todas as firmas estejam melhor que no equilíbrio conjunto descongestionado.

Comparativamente aos níveis de interligação praticados em 2002 avaliou-se quais os cenários em que o equilíbrio conjunto descongestionado seria fisicamente viável. Estes casos foram assinalados a **negrito** nas tabelas anteriores. No cenário de concorrência perfeita, em qualquer um dos cenários de procura considerados, verificou-se a viabilidade dos níveis de trânsito apurados face à capacidade de interligação utilizada como cenário base. Neste caso, o trânsito de potência na interligação faz-se tendencialmente no sentido Espanha Portugal. Este resultado é contudo devedor de estimativas mais aproximadas dos custos marginais de produção.

No cenário de menor rivalidade competitiva ( $\theta=-0.96$ ), em nenhuma situação, o equilíbrio conjunto descongestionado se demonstrou viável face à capacidade de interligação existente em 2002. A existência de cenários em que o equilíbrio conjunto descongestionado é viável tende a ocorrer tendencialmente quando se verificam as seguintes situações:

1. As firmas dominantes em Espanha apresentam um comportamento mais competitivo, o que deixa “pouco espaço” às firmas presentes em Portugal em penetrarem no mercado vizinho;
2. As firmas EDP e HC apresentam uma estratégia concertada, enfatizando o seu poder de mercado conjunto. A restrição de produção que a firma EDP opera em equilíbrio é superior àquela que define quando adopta uma estratégia separada da firma HC, em especial a partir dos equipamentos produtivos menos eficientes presentes em Portugal.
3. O poder de mercado relativo da firma EDP é superior (mesmo tratando-se do 3º produtor ibérico) operando uma maior restrição na sua produção. No cenário de procura baixa, a menor disponibilidade de meios de produção hídricos afecta negativamente o seu poder de mercado o que induz um comportamento mais competitivo e potencialmente congestionante da interligação no sentido Portugal Espanha.

### ***Comportamento competitivo passivo no mercado de preço alto em regime de autarcia***

Nas condições de assimetria de mercado estudadas, Borenstein et al. propõem, que sendo os níveis de interligação suficientemente pequenos, o jogo estudado tem um equilíbrio de Nash do tipo passivo / agressivo. Conforme as condições de assimetria de mercados anteriormente apuradas foi simulado um equilíbrio deste tipo em que as firmas presentes no mercado português adoptam o comportamento competitivo passivo utilizando como referência o cenário base para a capacidade de interligação.

Num equilíbrio deste tipo as firmas do mercado de preço alto optimizam o seu comportamento face a uma curva de procura residual desviada para a esquerda em K unidades, sendo K a capacidade de interligação. As firmas do mercado de preço baixo em conformidade comportam-se optimamente face a uma curva de procura residual desviada para a direita em K

unidades. Este comportamento é descrito na função objectivo formulada na equação 5.1. A hipótese fundamental para que este equilíbrio seja susceptível de existir é a presunção por parte das firmas nos dois mercados que o operador de mercado transfere  $K$  unidades de produção através da interligação entre o mercado de preço baixo e o mercado de preço alto.

Nesta análise excluíram-se dois cenários. Em primeiro lugar, excluiu-se o cenário de concorrência perfeita. O cenário de concorrência perfeita presume que os agentes não se comportam de forma estratégica relativamente aos preços. Por extensão, estes não deverão comportar-se estrategicamente face à capacidade de interligação.

Em segundo lugar, excluiu-se desta análise a distinção entre o comportamento concertado EDP/HC e estratégias autónomas das duas firmas, uma vez que verificou-se que os resultados seriam idênticos tanto numa situação como noutra. A reduzida quota de capacidade de produção da firma HC em Espanha impede a existência de comportamentos estratégicos face aos preços no mercado espanhol. Por isso, a firma HC, com ou sem estratégia concertada com a firma EDP, despacha sempre a máxima capacidade de produção disponível (desde que o preço seja superior aos respectivos custos marginais), ou seja, adopta o comportamento competitivo. Este resultado deriva das firmas optimizarem o seu comportamento face a segmentos da curva de procura distintos. O mesmo não se passa quando as firmas optam pelo equilíbrio conjunto descongestionado e optimizam perante o mesmo segmento da curva de procura, como anteriormente se demonstrou.

Os resultados apurados são expostos nas tabelas seguintes. No cenário MIBEL com os níveis de interligação praticados em 2002 o equilíbrio do modelo formulado nesta hipótese fornece preços distintos entre Portugal e Espanha, sendo sempre superiores em Portugal. As diferenças são mais esbatidas no período de procura baixa (entre 6% e 13%, consoante o nível de rivalidade competitiva) e mais acentuadas no período de procura alta (entre 19% e 27%). No período de procura intermédia as diferenças de preços entre as duas regiões são entre 15% e 21%. Em qualquer dos cenários de procura, conforme determinado pela hipótese formulada no cálculo deste equilíbrio, o trânsito de potência na interligação faz-se sempre no sentido Espanha / Portugal.

**Tabela 5.11 Cenário procura alta – MIBEL market splitting com 850 MW**

	Cenário mais competitivo ( $\theta=-0.98$ )		Cenário competitivo médio ( $\theta=-0.97$ )		Cenário menos competitivo ( $\theta=-0.96$ )	
	Portugal	Espanha	Portugal	Espanha	Portugal	Espanha
Preço (cent. Euro / kWh)	6,493	5,45	7,704	6,404	9,372	7,363
Procura em cada região (MWh)	7116,157	34714,12	7087,107	34602,92	7047,077	34491,04
Sentido de trânsito na interligação	Espanha ► Portugal		Espanha ► Portugal		Espanha ► Portugal	

Fonte: Autor

**Tabela 5.12 Cenário procura intermédia – MIBEL market splitting com 700 MW**

	Cenário mais competitivo ( $\theta=-0.98$ )		Cenário competitivo médio ( $\theta=-0.97$ )		Cenário menos competitivo ( $\theta=-0.96$ )	
	Portugal	Espanha	Portugal	Espanha	Portugal	Espanha
Preço (cent. Euro / kWh)	5,673	4,93	7,213	6,109	8,723	7,189
Procura em cada região (MWh)	5946,549	29807,03	5915,748	29689,08	5885,538	29581,14
Sentido de trânsito na interligação	Espanha ► Portugal		Espanha ► Portugal		Espanha ► Portugal	

Fonte: Autor

**Tabela 5.13 Cenário procura baixa – MIBEL market splitting com 550 MW**

	Cenário mais competitivo ( $\theta=-0.98$ )		Cenário competitivo médio ( $\theta=-0.97$ )		Cenário menos competitivo ( $\theta=-0.96$ )	
	Portugal	Espanha	Portugal	Espanha	Portugal	Espanha
Preço (cent. Euro / kWh)	5,305	4,974	6,667	6,063	8,002	7,065
Procura em cada região (MWh)	4961,582	26822,32	4938,887	26724,29	4916,628	26634,19
Sentido de trânsito na interligação	Espanha ► Portugal		Espanha ► Portugal		Espanha ► Portugal	

Fonte: Autor

### *Discussão das condições de existência de equilíbrio de Nash no cenário base de interligação*

Nos pontos anteriores analisaram-se dois comportamentos distintos no futuro MIBEL. Um primeiro corresponde à situação em que as firmas optimizam no segmento descongestionado da curva de procura. Nestas circunstâncias, as firmas portuguesas deverão comportar-se mais competitivamente que as firmas dominantes em Espanha, sendo que o sentido de trânsito na interligação definiria a região portuguesa do MIBEL como exportadora líquida. Demonstrou-se, contudo, que nem todos os cenários estudados conduzem a comportamentos viáveis do ponto de vista da capacidade de interligação disponível em 2002. Um segundo comportamento é oferecido pelo caso em que a firma dominante em Portugal adota um comportamento estratégico face à capacidade de interligação existente, conforme os níveis de capacidade de interligação praticados em 2002. Como observado por Borenstein et al., tendo em conta as

condições de assimetria de mercados presentes nas duas regiões do MIBEL e sendo os níveis de interligação suficientemente pequenos este problema poderá ter um equilíbrio de Nash em estratégias puras do tipo passivo / agressivo.

**Tabela 5.14 Equilíbrio de Nash para os diferentes cenário estudados**

Rivalidade competitiva	Estratégia EDP/HC	Procura alta	Procura Intermédia	Procura Baixa
$\theta=-0.98$	Concertada	Competitivo/agressivo Overlapping case	Competitivo/agressivo Overlapping case	Competitivo/agressivo Overlapping case
	Autónoma	Competitivo/agressivo	Competitivo/agressivo	Competitivo/agressivo
$\theta=-0.97$	Concertada	Competitivo/agressivo	Competitivo/agressivo Overlapping case	Competitivo/agressivo
	Autónoma	Competitivo/agressivo	Competitivo/agressivo	Não existe
$\theta=-0.96$	Concertada	Competitivo/agressivo	Competitivo/agressivo	Competitivo/agressivo
	Autónoma	Competitivo/agressivo	Competitivo/agressivo	Não existe

Fonte: Autor

A discussão do equilíbrio de Nash deste jogo tem presente as condições propostas para Borenstein et al para a sua existência e a sua análise é suportada nos resultados expostos nas tabelas 5.15 a 5.23 e resumidos na tabela 5.14. Nestas tabelas comparam-se os lucros operacionais e quotas de mercado resultantes das diferentes estratégias possíveis (comportamento competitivo passivo EDP vs comportamento agressivo firmas espanholas, equilíbrio conjunto descongestionado com EDP/HC concertadas e equilíbrio conjunto descongestionado com EDP e HC autónomas). Da análise dos resultados expostos verifica-se que em praticamente todos os cenários analisados o equilíbrio em que se assiste a um comportamento competitivo passivo na região portuguesa versus o comportamento competitivo agressivo na região espanhola satisfaz as condições de equilíbrio de Nash em Variações Conjecturais, porquanto:

- Os preços são superiores na região da firma dominante que adopta o comportamento competitivo passivo;

- A firma dominante nessa região (EDP) obtém lucros superiores no comportamento competitivo passivo comparativamente aos que obtém no equilíbrio conjunto des congestionado, com ou sem estratégias concertadas com HC ;
- Todas as restantes firmas presentes no mercado têm resultados superiores, no fundo estão melhores, quando a firma EDP adopta o comportamento competitivo passivo. Esta situação define que o comportamento competitivo agressivo adoptado pelas firmas em Espanha constitui a melhor resposta ao comportamento competitivo passivo pela firma dominante em Portugal.

Em apenas dois cenários o presente jogo não exhibe equilíbrio de Nash em estratégias puras. Trata-se do caso de procura baixa em que os níveis de rivalidade competitiva são de  $\theta = -0.96$  e  $\theta = -0.97$  e em que EDP e HC adoptam estratégias separadas em equilíbrio conjunto. Neste contexto, sendo a capacidade de interligação a verificada no cenário base, para a firma EDP existem estratégias alternativas mais lucrativas que adoptar o comportamento competitivo passivo. Contudo, uma que vez que os níveis de interligação exigidos para suportar um equilíbrio conjunto são superiores aos efectivamente verificados no cenário base o problema encontra-se no caso 1 proposto por Borenstein et al., ou seja, num intervalo de níveis de capacidade de interligação em que o problema não produz equilíbrio de Nash em estratégias puras.

Outro aspecto interessante dos resultados obtidos refere-se à ocorrência do overlapping case. Este ocorre apenas quando EDP e HC adoptam estratégias concertadas e em situações em que o equilíbrio conjunto des congestionado é possível contudo sendo mais lucrativo para a firma EDP adoptar o comportamento competitivo passivo no seu mercado doméstico. Este resultado será analisado com maior cuidado no próximo ponto.

Interessa então analisar de forma mais cuidada os resultados aferidos como equilíbrio de Nash para o cenário base de capacidade de interligação. Os pontos de equilíbrio de Nash aferidos possuem as seguintes características:

- na região portuguesa do MIBEL os preços são superiores aos praticados em Espanha, conforme anteriormente visto; as diferenças foram avaliadas entre 6% e 27% dependente dos cenários de procura e rivalidade competitiva estudados;
- A firma EDP, ao adoptar o comportamento competitivo passivo realiza ganhos superiores ao que realizaria em equilíbrio conjunto descongestionado, embora sacrificando quota de mercado. Dependente dos cenários considerados, no comportamento competitivo passivo a firma EDP realiza uma quota de mercado no MIBEL inferior, entre 2% a 4%, à que realizaria no equilíbrio conjunto descongestionado (para os casos em que este é fisicamente viável face ao cenário base de interligação considerado).
- Nos pontos de equilíbrio analisados verificou-se que apenas três firmas exibem comportamentos estratégicos: Endesa, Iberdrola e EDP ou EDP/HC. As restantes firmas despacham sempre a máxima capacidade de produção que têm disponível (uma vez que em todos os cenários analisados o preço se situou sempre acima dos custos marginais de sistema).
- Na região portuguesa do MIBEL os preços situam-se entre os obtidos no regime de autarcia e os obtidos no regime de equilíbrio conjunto descongestionado. Comparativamente ao regime de autarcia os preços descem entre 18% a 26%. Comparativamente ao equilíbrio conjunto descongestionado estes são superiores entre 20% a 53%.
- Na região espanhola do MIBEL os preços são superiores, tanto aos que seriam obtidos em regime de autarcia, como aos que seriam obtidos em equilíbrio conjunto descongestionado. As diferenças de preços relativamente ao regime de autarcia foram avaliadas entre 2% a 10%; relativamente ao equilíbrio conjunto descongestionado as diferenças foram entre 10% a 20%. É possível deste modo supor que o comportamento estratégico face à capacidade de interligação no futuro MIBEL tenha como efeito potencial a existência de preços superiores na região espanhola daqueles que seriam obtidos no OMEL – aqui entendido como o mercado espanhol em regime de autarcia.



Tabela 5.15 Cenário de Procura alta e rivalidade competitiva  $\theta=-0.98$

Resultados do equilíbrio conjunto descongestionado e do equilíbrio competitivo passivo vs competitivo agressivo

	Conjunto descongestionado (EDP HC concertadas)		Conjunto descongestionado (EDP HC autónomas)		competitivo passivo (EDP) vs competitivo agressivo	
Preço Portugal (cent. Euro / kWh)	4,543		4,368		6,493	
Preço Espanha (cent. Euro / kWh)	4,543		4,368		5,45	
Trânsito na interligação (MW)	195,064		1009,563		850	
Sentido de trânsito na interligação	Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha		Espanha ► Portugal	
	Lucros Op.	Quota	Lucros Op.	Quota	Lucros Op.	Quota
	Euros	%	Euros	%	Euros	%
EDP+HC	1791031,0	18,9	1766780,0	21,9	2723925,0	17,1
EDP	1263649,0	12,6	1282607,0	15,6	1972900,0	10,7
Hidrocantábrico	527382,2	6,3	484173,1	6,4	751024,6	6,3
Turbogas	152775,2	2,5	135401,1	2,5	345852,9	2,5
Tejo	119321,9	1,5	109073,0	1,5	233218,3	1,5
Unionfenosa	1131202,0	12,6	1044713,0	12,6	1578297,0	12,7
Iberdrola	2874919,0	27,84	2874919,0	27,7	4172354,0	29,3
Endesa	3572014,0	36,60	3110148,0	33,7	4872704,0	36,8
Lucros Op. da Indústria	9641264,0	100	9041034,0	100	13926350,0	100

Fonte: Autor

Tabela 5.16 Cenário de Procura alta e rivalidade competitiva  $\theta=-0.97$

Resultados do equilíbrio conjunto descongestionado e do equilíbrio competitivo passivo vs competitivo agressivo

	Conjunto descongestionado (EDP HC concertadas)		Conjunto descongestionado (EDP HC autónomas)		competitivo passivo (EDP) vs competitivo agressivo	
Preço Portugal (cent. Euro / kWh)	5,3		5,239		7,704	
Preço Espanha (cent. Euro / kWh)	5,3		5,239		6,404	
Trânsito na interligação (MW)	906,222		1199,942		850	
Sentido de trânsito na interligação	Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha		Espanha ► Portugal	
	Lucros Op.	Quota	Lucros Op.	Quota	Lucros Op.	Quota
	Euros	%	Euros	%	Euros	%
EDP+HC	2543211,0	21,7	2542955,0	22,5	3451577,0	17,1
EDP	1829251,0	15,3	1843969,0	16,1	2465622,0	10,8
Hidrocantábrico	713960,0	6,3	698985,6	6,3	985954,2	6,4
Turbogas	227736,2	2,5	221685,2	2,5	465684,5	2,6
Tejo	163541,3	1,5	159971,9	1,5	303906,8	1,5
Unionfenosa	1504364,0	12,7	1474242,0	12,7	2048051,0	12,7
Iberdrola	3882379,0	27,8	3816357,0	27,8	5231948,0	29,2
Endesa	4333787,0	33,8	4175028,0	33,0	6226454,0	36,9
Lucros Op. da Indústria	12655020,0	100,0	12390240,0	100,0	17727620,0	100,0

Fonte: Autor

Tabela 5.17 Cenário de Procura alta e rivalidade competitiva  $\theta=-0.96$

Resultados do equilíbrio conjunto descongestionado e do equilíbrio competitivo passivo vs competitivo agressivo

	Conjunto descongestionado (EDP HC concertadas)		Conjunto descongestionado (EDP HC autónomas)		competitivo passivo (EDP) vs competitivo agressivo	
Preço Portugal (cent. Euro / kWh)	6,095		6,095		9,372	
Preço Espanha (cent. Euro / kWh)	6,095		6,095		7,363	
Trânsito na interligação (MW)	1220,476		1220,476		850	
Sentido de trânsito na interligação	Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha		Espanha ► Portugal	
	Lucros Op.	Quota	Lucros Op.	Quota	Lucros Op.	Quota
	Euros	%	Euros	%	Euros	%
EDP+HC	3290490,0	22,5	3290490,0	22,5	4354794,0	17,1
EDP	2380623,0	16,2	2380623,0	16,2	3132484,0	10,7
Hidrocantábrico	909867,1	6,4	909867,1	6,4	1222310,0	6,4
Turbogas	306390,3	2,6	306390,3	2,6	630807,7	2,6
Tejo	209939,3	1,5	209939,3	1,5	401312,8	1,5
Unionfenosa	1895911,0	12,7	1895911,0	12,7	2520656,0	12,8
Iberdrola	4765871,0	28,1	4765871,0	28,1	6304755,0	29,2
Endesa	5201313,0	32,6	5201313,0	32,6	7552937,0	36,8
Lucros Op. da Indústria	15669910,0	100,0	15669910,0	100,0	21765260,0	100,0

Fonte: Autor

Tabela 5.18 Cenário de Procura intermédia e rivalidade competitiva  $\theta=-0.98$

Resultados do equilíbrio conjunto descongestionado e do equilíbrio competitivo passivo vs competitivo agressivo

	Conjunto descongestionado (EDP HC concertadas)		Conjunto descongestionado (EDP HC autónomas)		competitivo passivo (EDP) vs competitivo agressivo	
Preço Portugal (cent. Euro / kWh)	4,46		4,31		5,673	
Preço Espanha (cent. Euro / kWh)	4,46		4,31		4,93	
Trânsito na interligação (MW)	0,206		962,385		700	
Sentido de trânsito na interligação	Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha		Espanha ► Portugal	
	Lucros Op.	Quota	Lucros Op.	Quota	Lucros Op.	Quota
	Euros	%	Euros	%	Euros	%
EDP+HC	1402963,0	19,0	1387803,0	22,0	1792207,0	16,9
EDP	927502,6	11,8	947632,9	14,8	1205967,0	9,7
Hidrocantábrico	475460,4	7,2	440170,0	7,2	586240,5	7,2
Turbogas	144509,8	3,0	129725,9	3,0	264582,4	3,0
Tejo	114446,2	1,8	105725,2	1,8	185276,9	1,8
Unionfenosa	957225,2	13,6	890332,1	13,6	1167776,0	13,7
Iberdrola	2361700,0	26,7	2224143,0	26,5	2823984,0	27,5
Endesa	2826811,0	35,8	2489018,0	33,1	3474352,0	37,1
Lucros Op. da Indústria	7807655,0	100,0	7226747,0	100,0	9708178,0	100,0

Fonte: Autor

Tabela 5.19 Cenário de Procura intermédia e rivalidade competitiva  $\theta=-0.97$

Resultados do equilíbrio conjunto descongestionado e do equilíbrio competitivo passivo vs competitivo agressivo

	Conjunto descongestionado (EDP HC concertadas)		Conjunto descongestionado (EDP HC autónomas)		competitivo passivo (EDP) vs competitivo agressivo	
Preço Portugal (cent. Euro / kWh)	5,223		5,089		7,213	
Preço Espanha (cent. Euro / kWh)	5,223		5,089		6,109	
Trânsito na interligação (MW)	653,3		1390,68		700	
Sentido de trânsito na interligação	Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha		Espanha ► Portugal	
	Lucros Op.	Quota	Lucros Op.	Quota	Lucros Op.	Quota
	Euros	%	Euros	%	Euros	%
EDP+HC	1990591,0	21,1	20156090	23,3	2544455,0	16,9
EDP	1335185,0	13,9	1391804,0	16,1	1680047,0	9,6
Hidrocantábrico	655406,3	7,2	623804,9	7,2	864408,6	7,2
Turbogas	220107,5	3,0	206811,5	3,0	417049,5	3,0
Tejo	159041,2	1,8	151197,9	1,8	275217,1	1,8
Unionfenosa	1299286,0	13,7	1239125,0	13,7	1696123,0	13,7
Iberdrola	3060515,0	27,2	2902067,0	26,6	3887932,0	27,7
Endesa	3489133,0	33,3	3203748,0	31,6	4864687,0	36,9
Lucros Op. da Indústria	10218670,0	100,0	9718558,0	100,0	13685460,0	100,0

Fonte: Autor

Tabela 5.20 Cenário de Procura intermédia e rivalidade competitiva  $\theta=-0.96$

Resultados do equilíbrio conjunto descongestionado e do equilíbrio competitivo passivo vs competitivo agressivo

	Conjunto descongestionado (EDP HC concertadas)		Conjunto descongestionado (EDP HC autónomas)		competitivo passivo (EDP) vs competitivo agressivo	
Preço Portugal (cent. Euro / kWh)	5,955		5,911		8,723	
Preço Espanha (cent. Euro / kWh)	5,955		5,911		7,189	
Trânsito na interligação (MW)	1138,673		1407,113		700	
Sentido de trânsito na interligação	Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha		Espanha ► Portugal	
	Lucros Op.	Quota	Lucros Op.	Quota	Lucros Op.	Quota
	Euros	%	Euros	%	Euros	%
EDP+HC	2610281,0	22,6	2642798,0	23,4	3254779,0	16,8
EDP	1782240,0	15,4	1825216,0	16,2	2135794,0	9,6
Hidrocantábrico	828041,2	7,2	817582,5	7,2	1118985,0	7,3
Turbogas	292511,3	3,0	288154,7	3,0	566584,6	3,0
Tejo	201752,1	1,8	199182,2	1,8	363427,7	1,8
Unionfenosa	1626895,0	13,7	1607182,0	13,7	2179659,0	13,8
Iberdrola	3702280,0	27,2	3624846,0	26,7	4935829,0	28,4
Endesa	4102972,0	31,7	4012336,0	31,3	6018422,0	36,1
Lucros Op. da Indústria	12536690,0	100	12374500,0	100	17318700,0	100

Fonte: Autor

Tabela 5.21 Cenário de Procura baixa e rivalidade competitiva  $\theta=-0.98$

Resultados do equilíbrio conjunto descongestionado e do equilíbrio competitivo passivo vs competitivo agressivo

	Conjunto descongestionado (EDP HC concertadas)		Conjunto descongestionado (EDP HC autónomas)		competitivo passivo (EDP) vs competitivo agressivo	
Preço Portugal (cent. Euro / kWh)	4,456		4,3		5,305	
Preço Espanha (cent. Euro / kWh)	4,456		4,3		4,974	
Trânsito na interligação (MW)	197,072		1360,628		550	
Sentido de trânsito na interligação	Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha		Espanha ► Portugal	
	Lucros Op.	Quota	Lucros Op.	Quota	Lucros Op.	Quota
	Euros	%	Euros	%	Euros	%
EDP+HC	1139844,0	18,6	1148947,0	22,7	1342574,0	16,0
EDP	690482,3	10,7	735121,0	14,8	775394,6	8,1
Hidrocantábrico	449361,5	7,9	413825,6	7,9	567179,8	7,9
Turbogas	144176,6	3,4	128668,4	3,4	228204,7	3,4
Tejo	114249,7	2,0	105101,4	2,0	163817,7	2,0
Unionfenosa	849585,6	14,3	785038,7	14,3	1063003,0	14,3
Iberdrola	1901417,0	25,5	174556,0	24,4	2281808,0	25,5
Endesa	2456416,0	36,2	2142617,0	33,3	3170135,0	38,7
Lucros Op. da Indústria	6605689,0	100,0	6055932,0	100,0	8249543,0	100,0

Fonte: Autor

Tabela 5.22 Cenário de Procura baixa e rivalidade competitiva  $\theta=-0.97$

Resultados do equilíbrio conjunto descongestionado e do equilíbrio competitivo passivo vs competitivo agressivo

	Conjunto descongestionado (EDP HC concertadas)		Conjunto descongestionado (EDP HC autónomas)		competitivo passivo (EDP) vs competitivo agressivo	
Preço Portugal (cent. Euro / kWh)	5,211		5,047		6,667	
Preço Espanha (cent. Euro / kWh)	5,211		5,047		6,063	
Trânsito na interligação (MW)	922,438		1585,223		550	
Sentido de trânsito na interligação	Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha		Espanha ► Portugal	
	Lucros Op.	Quota Op.	Lucros Op.	Quota	Lucros Op.	Quota
	Euros	%	Euros	%	Euros	%
EDP+HC	1667444,0	21,2	1670618,0	23,5	1899021,0	16,0
EDP	1046449,0	13,3	1086824,0	15,6	1084246,0	8,1
Hidrocantábrico	620995,6	7,9	583793,2	7,9	814775,2	7,9
Turbogas	218925,9	3,441788	202687,7	3,4	363012,8	3,5
Tejo	158344,2	2,030307	148765,3	2,0	243340,9	2,0
Unionfenosa	1160701,0	14,32514	1093116,0	14,3	1511785,0	14,4
Iberdrola	2455944,0	25,53285	2322208,0	25,3	3170390,0	26,8
Endesa	3029112,0	33,5155	2722427,0	31,5	4224608,0	37,3
Lucros Op. da Indústria	8690471,0	100	8159821,0	100,0	11412160,0	100,0

Fonte: Autor

Tabela 5.23 Cenário de Procura baixa e rivalidade competitiva  $\theta=-0.96$

Resultados do equilíbrio conjunto descongestionado e do equilíbrio competitivo passivo vs competitivo agressivo

	Conjunto descongestionado (EDP HC concertadas)		Conjunto descongestionado (EDP HC autónomas)		competitivo passivo (EDP) vs competitivo agressivo	
Preço Portugal (cent. Euro / kWh)	5,934		5,84		8,002	
Preço Espanha (cent. Euro / kWh)	5,934		5,84		7,065	
Trânsito na interligação (MW)	1340,385		1598,441		550	
Sentido de trânsito na interligação	Portugal ► Espanha		Portugal ► Espanha		Espanha ► Portugal	
	Lucros Op.	Quota	Lucros Op.	Quota	Lucros Op.	Quota
	Euros	%	Euros	%	Euros	%
EDP+HC	2205980,0	22,6	2205980,0	23,5	2423514,0	16,0
EDP	1420624,0	14,7	1441895,0	15,6	1381155,0	8,0
Hidrocantábrico	785355,2	7,9	764084,6	7,9	1042359,0	8,0
Turbogas	290470,4	3,5	281202,8	3,4	495228,5	3,5
Tejo	200548,2	2,0	195081,3	2,0	321334,8	2,0
Unionfenosa	1458478,0	14,4	1419905,0	14,4	1924295,0	14,4
Iberdrola	2986695,0	25,6	2917944,0	25,6	4057884,0	28,1
Endesa	3559938,0	31,9	3390827,0	31,0	5103092,0	36,0
Lucros Op. da Indústria	10702110,0	100,0	10410940,0	100,0	14325350,0	100,0

Fonte: Autor

Análise de sensibilidade do comportamento das firmas a diferentes cenários de interligação

Qual o nível de capacidade de interligação a partir do qual o comportamento competitivo passivo definido em equilíbrio de Nash em Variações Conjecturais deixa de ser uma estratégia óptima para a firma EDP? Para responder a esta pergunta identificou-se o nível de capacidade de interligação,  $K^s$ , a partir do qual os lucros gerados pelo equilíbrio conjunto descongestionado são idênticos ao equilíbrio congestionado em que a firma EDP adopte o comportamento competitivo passivo. Na análise a seguir desenvolvida identificou-se igualmente o nível de interligação  $K^*$ , aquele que permite o equilíbrio conjunto descongestionado.

A análise genérica dos resultados obtidos a partir desta análise permite verificar que salvo no caso de concorrência perfeita, para um intervalo alargado de capacidade de interligação, a decisão de congestionar as linhas, independentemente do sentido de trânsito, pertence em grande medida à firma dominante em Portugal.

Para a firma EDP, entre o comportamento competitivo passivo e o comportamento competitivo agressivo regista-se uma diferença de produção de  $2K$ , sendo  $K$  o nível de interligação entre sistemas. Sendo a procura inelástica a importação de  $K$  energia produz uma redução significativa nos preços na região portuguesa. Para a firma EDP regista-se um compromisso entre produzir menos e obter preços mais altos ou produzir mais e receber preços mais baixos. Este compromisso é tanto maior quanto maior for a capacidade de interligação disponível.

Quanto a firma EDP adopta uma estratégia competitiva passiva, o aumento da capacidade de interligação reduz os preços em Portugal e aumenta-os em Espanha. Com efeito, à medida que a capacidade de interligação sobe as diferenças de preços entre mercados esbatem-se, descendo em Portugal e subindo em Espanha. Este é um resultado próprio de um sistema de market splitting. Este resultado produz dois efeitos de sinal contrário quando EDP e HC interpretam uma estratégia conjunta: níveis crescentes de interligação produzem um impacto negativo nos lucros da EDP em Portugal (quando se comporta passivamente) e um efeito positivo nos lucros da HC em Espanha. Logo o nível de capacidade de interligação em que se regista a indiferença entre o comportamento obtido no equilíbrio conjunto descongestionado e o comportamento passivo no equilíbrio congestionado é mais elevado quando a firma EDP e HC assumem uma estratégia conjugada de maximização dos resultados conjuntos. Este facto está na base da ocorrência do *overlapping case* assinalado no ponto anterior.

Na análise efectuada a cenários alternativos de capacidade de interligação detectou-se ainda outro resultado. Quando os níveis de rivalidade competitiva são mais elevados ( $\theta = -0.98$  e  $\theta = -0.97$ ) verifica-se que a firma EDP não tem incentivos em abandonar o comportamento competitivo passivo mesmo que a capacidade de interligação seja suficiente para anular a diferença de preços entre regiões. Estes casos são assinalados a bold na tabelas 5.24 a 5.26. Este resultado deriva em grande medida de se ter adoptado um modelo de Variações Conjecturais e obtém-se apenas para níveis de rivalidade competitiva mais elevados. Em nenhum dos cenários em que a rivalidade competitiva seria mais baixa ( $\theta = -0.96$ ) este resultado foi assinalado. Este resultado é de certa forma paradoxal e foi igualmente detectado por Borenstein et al (2000) no caso particular em que o mercado vizinho se encontra em regime de concorrência perfeita. No fundo, quando Borenstein et al. violaram a hipótese de

comportamento Cournot nos dois mercados, os resultados diferem dos postulados nas hipóteses iniciais.

Este resultado encontra justificação em três factores:

- Com níveis de rivalidade competitiva mais elevados, em equilíbrio conjunto des congestionado, os preços determinados pelas firmas dominantes em Espanha são mais baixos. Para a firma EDP, mesmo com preços praticamente idênticos em market splitting congestionado os lucros gerados pelo comportamento competitivo passivo são superiores aos lucros gerados em equilíbrio conjunto des congestionado.
- As firmas espanholas, comportando-se de forma mais competitiva, limitam a possibilidade de entrada em Espanha. A firma EDP para penetrar no mercado vizinho teria que baixar o preço no respectivo mercado até a um nível idêntico ao do mercado vizinho, resultando desse comportamento lucros inferiores.
- Quando a firma EDP interpreta uma estratégia concertada com a firma HC, a perda de lucros na sua região justificada no crescimento da capacidade de interligação é compensada pelo crescimento dos preços e lucros da sua participada HC em Espanha.

Em teoria, nestes casos, o ponto  $K^s$ , não existe. Uma vez atingido esse nível de capacidade de interligação a firma EDP prefere ainda optar pelo comportamento competitivo passivo. Para níveis de interligação superiores a  $K^s$  a capacidade de interligação será suficiente para equalizar os preços entre regiões o que põe de parte a existência de um equilíbrio de Nash em estratégias puras, conforme as condições enunciadas por Borenstein et al (2000). Com efeito, para um nível de capacidade de interligação  $K$  superior a  $K^s$  não faz sentido supor que haverá um trânsito de potência na interligação de  $K$ . A intervenção do operador de mercado esgota-se no nível  $K^s$ , ponto a partir do qual os preços nas duas regiões são idênticos. A existência de um equilíbrio de Nash do tipo agressivo/passivo funda-se na hipótese que as firmas participantes no mercado reconhecem que será efectuado um trânsito de potência de  $K$ , sendo  $K$  o valor publicado de interligação. Com  $K$  superior a  $K^s$ , esta hipótese deixa de fazer sentido. A existência de equilíbrio de Nash para níveis de capacidade de interligação superiores a  $K^s$  deverá ser apenas possível em estratégias mistas, situação que não se estudou.

Em geral, os resultados demonstram o efeito mitigador de poder de mercado provocado por níveis crescentes de capacidade de interligação. Com efeito, à medida que a capacidade de interligação aumenta, os preços decrescem na região portuguesa, aproximando-se dos preços obtidos em equilíbrio conjunto descongestionado. Contudo, nem em todos os cenários analisados o crescimento da capacidade de interligação é suficiente para a firma EDP abandonar o comportamento competitivo passivo, aquele, como se demonstrou, mais penalizador dos consumidores do ponto de vista dos preços praticados.

Para que o equilíbrio conjunto descongestionado seja o comportamento óptimo para a firma EDP os níveis de capacidade de interligação deverão crescer entre 72% a 114% no cenário de procura alta, entre 63% a 101% no cenário de procura intermédia, e entre 67% a 190% no cenário de procura baixa.

### **Cenário de procura alta**

No cenário de procura alta a identificação do ponto de indiferença entre estratégias permite verificar duas situações distintas. O overlapping case predomina em todas as situações. Contudo, como atrás notado, ultrapassado o nível  $K^s$  o jogo nem sempre produz equilíbrio em estratégias puras. Esta situação assinala-se sobretudo quando os níveis de rivalidade são mais elevados ( $\theta=-0.98$  e  $\theta=-0.97$ ).

Para níveis de rivalidade mais baixos ( $\theta=-0.96$ ) o ponto de indiferença é dependente das firmas EDP e HC adoptarem estratégias concertadas ou separadas. No caso de estratégia conjugada EDP/HC e  $\theta=-0.96$  o ponto de indiferença ( $K^s$ ) verifica-se para um nível de interligação de 1819 MW, ponto em que os lucros conjuntos EDP/HC equivalem aos obtidos no equilíbrio conjunto descongestionado, possível a partir de 1220 MW. No caso da firma EDP adoptar uma estratégia autónoma da firma HC então o ponto de indiferença ( $K^s$ ) é atingido quando o nível de interligação é de 1460 MW.



Tabela 5.24 Cenário de procura alta – Análise de sensibilidade dos resultados a cenários alternativos de capacidade de interligação

Nível de rivalidade competitiva	Estratégia EDP/HC	Preço (cent. Euro/kWh)			Preço (cent. Euro/kWh)			Comentário
		K* (MW)	Euro/kWh		K* (MW)	Euro/kWh		
			P	E		P	E	
$\Theta=-0,98$	Concertada	1463	5,5	5,5	195	4,5	4,5	overlapping case entre K* e K <sup>S</sup> ; com K <sup>S</sup> =1463 preços idênticos entre mercados; acima K <sup>S</sup> não existe equilíbrio em estratégias puras
	Autónoma	1463	5,5	5,5	1009,5	4,4	4,4	overlapping case entre K* e K <sup>S</sup> ; com K <sup>S</sup> =1463 preços idênticos entre mercados; acima K <sup>S</sup> não existe equilíbrio em estratégias puras
$\Theta=-0,97$	Concertada	1738	6,6	6,6	906,2	5,3	5,3	overlapping case entre K* e K <sup>S</sup> ; com KS=1738 preços idênticos entre mercados; acima de Ks não existe equilíbrio em estratégias puras
	Autónoma	1520	6,9	6,5	1199,9	5,2	5,2	overlapping case entre K* e K <sup>S</sup> ; acima de K <sup>S</sup> equilíbrio conjunto descongestionado
$\Theta=-0,96$	Concertada	1819	7,8	7,7	1220,5	6,1	6,1	overlapping case entre K* e K <sup>S</sup> ; acima de K <sup>S</sup> equilíbrio conjunto descongestionado
	Autónoma	1460	8,4	7,5	1220,5	6,1	6,1	overlapping case entre K* e K <sup>S</sup> ; acima de K <sup>S</sup> equilíbrio conjunto descongestionado

Fonte: Autor

Cenário de procura intermédia

Três situações são passíveis de observar no cenário de procura intermédia. Os casos assinalados a bold, tal como no cenário de procura alta, são aqueles em que em market splitting a capacidade de interligação permite preços idênticos entre mercados mesmo que a firma EDP se comporte passivamente.

Os casos assinalados a itálico ( $\theta=-0.97$  e  $\theta=-0.96$ , com EDP autónoma) correspondem a situações em que K<sup>s</sup> é inferior a K\*, o nível de interligação que suporta o equilíbrio conjunto descongestionado. Trata-se do caso 1 assinalado por Borenstein et al. (2000) no seu estudo. Este ponto define uma inversão no comportamento passivo da firma EDP que deverá comportar-se de forma mais agressiva, induzindo uma descida de preço na sua região e potencialmente congestionando a linha em sentido contrário. No intervalo de capacidade de interligação entre K<sup>s</sup> e K\* não existe equilíbrio em estratégias puras, conforme analisado por Borenstein et al (2000). Este resultado decorre em grande medida do facto da firma EDP dispor de um menor poder de mercado derivado da menor disponibilidade de meios hídricos.

Com efeito, nestes casos a firma EDP desejaria tornar-se mais competitiva mas é limitada nesse comportamento pela capacidade de interligação, inferior àquela que permite o equilíbrio conjunto descongestionado.

**Tabela 5.25 Cenário de procura intermédia – Análise de sensibilidade dos resultados a cenários alternativos de capacidade de interligação**

Nível de rivalidade competitiva	Estratégia EDP/HC	K <sup>s</sup> (MW)	Preço (cent. Euro/kWh)		K <sup>*</sup> (MW)	Preço (cent. Euro/kWh)		Comentário
			P	E		P	E	
$\Theta=-0,98$	Concertada	1331	5,0	5,0	0	4,5	4,5	overlapping case entre K <sup>*</sup> e K <sup>s</sup> ; com K <sup>s</sup> =1331 preços idênticos entre mercados; acima K <sup>s</sup> não existe equilíbrio em estratégias puras
	Autónoma	1146	5,2	5,0	962,4	4,3	4,3	overlapping case entre K <sup>*</sup> e K <sup>s</sup> ; acima de K <sup>s</sup> equilíbrio conjunto descongestionado
$\Theta=-0,97$	Concertada	1358	6,3	6,3	653,3	5,2	5,2	overlapping case entre K <sup>*</sup> e K <sup>s</sup> ; com K <sup>s</sup> =1358 preços idênticos entre mercados; acima de K <sup>s</sup> não existe equilíbrio em estratégias puras
	Autónoma	1032	6,7	6,2	1390,7	5,1	5,1	caso 1: entre K <sup>*</sup> e K <sup>s</sup> não existe equilíbrio em estratégias puras; acima de K <sup>*</sup> equilíbrio conjunto descongestionado
$\Theta=-0,96$	Concertada	1322	7,5	7,3	1138,7	6,0	6,0	overlapping case entre K <sup>*</sup> e K <sup>s</sup> ; acima de K <sup>s</sup> equilíbrio conjunto descongestionado
	Autónoma	971	8,2	7,2	1407,1	5,9	5,9	caso 1: entre K <sup>*</sup> e K <sup>s</sup> não existe equilíbrio em estratégias puras; acima de K <sup>*</sup> equilíbrio conjunto descongestionado

Fonte: Autor

**Cenário de procura baixa**

No cenário de procura baixa os casos assinalados a *itálico* - caso 1 de Borenstein et al., são mais comuns o que decorre do menor poder de mercado relativo da firma EDP, sobretudo quando adopta uma estratégia autónoma da firma HC. Neste cenário, a diferença entre os pontos K<sup>s</sup> e K<sup>\*</sup> é mais acentuada que nos casos semelhantes assinalados no cenário de procura intermédia. Note-se que neste cenário de procura mesmo com a capacidade de interligação disponível em 2002 o jogo não produzia equilíbrio de Nash em estratégias puras com EDP e HC autónomas. Tomando como exemplo o caso de menor rivalidade competitiva ( $\theta=-0.96$ ) e em que a firma EDP adopta uma estratégia autónoma da firma HC o ponto de mudança de comportamento (K<sup>s</sup>) verifica-se a partir de 497 MW e o equilíbrio conjunto descongestionado é apenas possível a partir de 1598 MW.

**Tabela 5.26 Cenário de procura baixa – Análise de sensibilidade dos resultados a cenários alternativos de capacidade de interligação**

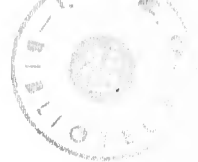
Nível de rivalidade competitiva	Estratégia EDP/HC	Ks (MW)	Preço (cent. Euro/kWh)		K* (MW)	Preço (cent. Euro/kWh)		Comentário
			P	E		P	E	
$\Theta=-0,98$	Concertada	<b>787</b>	5,0	5,0	197,1	4,5	4,5	overlapping case entre K* e K <sup>S</sup> ; com K <sup>S</sup> =787 preços idênticos entre mercados; acima K <sup>S</sup> não existe equilíbrio em estratégias puras
	Autónoma	<b>624</b>	5,2	4,9	1360,6	4,3	4,3	caso 1: entre K* e K <sup>S</sup> não existe equilíbrio em estratégias puras; acima de K <sup>S</sup> equilíbrio conjunto descongestionado
$\Theta=-0,97$	Concertada	<b>865</b>	6,1	6,1	922,4	5,2	5,2	caso 1: entre K* e K <sup>S</sup> não existe equilíbrio em estratégias puras; acima de K* equilíbrio conjunto descongestionado
	Autónoma	<b>547</b>	6,6	6,0	1585,2	5,0	5,0	caso 1: entre K* e K <sup>S</sup> não existe equilíbrio em estratégias puras; acima de K* equilíbrio conjunto descongestionado
$\Theta=-0,96$	Concertada	<b>777</b>	7,5	7,1	1340,4	5,9	5,9	overlapping case entre K* e K <sup>S</sup> ; acima de K* equilíbrio conjunto descongestionado
	Autónoma	<b>493</b>	8,1	7,1	1598,4	5,8	5,8	caso 1: entre K* e K <sup>S</sup> não existe equilíbrio em estratégias puras; acima de K* equilíbrio conjunto descongestionado

Fonte: Autor

O caso assinalado a bold surge em circunstâncias idênticas às observadas no cenário de procura intermédia, ou seja, numa situação em que o nível de rivalidade competitiva é mais elevada ( $\theta=-0.98$ ) e em que EDP e HC definem posições concertadas.

*Extensões à análise efectuada*

Como se passaria com Counter trading / redespacho? Para níveis de interligação suficientemente pequenos a estratégia óptima da firma EDP será, como numa metodologia de market splitting, comportar-se de forma defensiva. Este comportamento poderia ser obtido do seguinte modo: no mercado diário do MIBEL a estratégia óptima da firma EDP seria fixar o preço marginal de sistema. Embora dessa forma despachasse pouca energia na sessão do mercado diário, existindo restrições de capacidade de interligação e sendo a EDP a firma dominante na região portuguesa, esta seria necessariamente chamada a produzir através de redespacho ou counter-trading. É possível imaginar cenários em que as quantidades produzidas pela firma EDP por counter-trading /redespacho seriam semelhantes às produzidas por market-splitting. No contexto de counter trading / redespacho é por isso possível supor



igualmente a ocorrência de comportamentos estratégicos do tipo dos analisados com market splitting. A forma de cálculo e determinação do equilíbrio deverá contudo produzir pontos de indiferença entre comportamentos passivo /agressivo diferentes dos obtidos com market splitting.

A principal diferença entre métodos consiste nos preços que cada um formula. Com market-splitting, existindo congestionamentos existem zonas com preços diferentes. No caso de counter-trading e de redespacho pratica-se um regime de preço uniforme. Supondo que o preço obtido em counter-trading / redespacho estaria situado entre os preços fixados em market splitting em duas regiões, facilmente se depreende que:

- Em termos globais os níveis de bem estar – soma do excedente do produtor e do consumidor, provavelmente seriam próximos entre os dois métodos;
- Entre os dois métodos assinalam-se transferências de bem estar entre grupos de agentes; os consumidores da região de preço baixo estariam melhor no regime de market splitting enquanto os produtores dessa região veriam vantagem em adoptar um regime de preço uniforme com counter trading/redespacho. A análise será exactamente a oposta para os consumidores e produtores da região de preço alto num regime de market-splitting.

## 5.6. Conclusões

No cenário de partida do MIBEL os níveis de capacidade de interligação entre os sistemas eléctricos português e espanhol encontram-se razoavelmente limitados. Confrontam-se no MIBEL duas estruturas horizontais de mercado que diferem nos índices de concentração em cada região ibérica. Em Portugal temos um produtor dominante e em Espanha um regime de duopólio. À partida, as condições concorrenciais em Portugal definem um contexto pouco favorável à criação de uma pool isolada. Como demonstrado, no quadro das hipóteses formuladas, em regime de autarcia em cada mercado o equilíbrio que seria obtido definiria preços mais elevados em Portugal do que em Espanha, com diferenças a rondarem os 50%.

Com o MIBEL assiste-se a uma potencial diluição das duas estruturas horizontais, embora limitada pelas restrições de capacidade de transporte. Até que ponto estas restrições poderão afectar o desempenho competitivo do MIBEL foi o propósito do estudo desenvolvido.

A literatura que analisa esta temática salienta como as restrições de capacidade de transporte podem suscitar comportamentos estratégicos. Tal tende a ocorrer quando existem condições de dominância na região congestionada da rede. Partindo do trabalho de Borenstein et al. (2000), desenvolveu-se uma análise contextualizada ao MIBEL, estudando em concreto que tipo de práticas competitivas são susceptíveis de ocorrer por parte das firmas dominantes presentes neste mercado. Este estudo partiu da hipótese que se adopta um regime de gestão de congestionamento do tipo market splitting e o comportamento das firmas foi modelado com base na hipótese de Variações Conjecturais, cénarizando diferentes níveis de rivalidade competitiva. Estudou-se, em particular, como a dominância existente na região portuguesa face às restrições de capacidade de interligação pode suscitar comportamentos competitivos passivos por parte da firma EDP, adoptando a terminologia dos autores citados.

As restrições de capacidade de transporte jogam um papel determinante relativamente às opções colocadas à firma dominante portuguesa. Confrontam-se neste quadro duas estratégias possíveis:

**Disputar o mercado alargado do MIBEL com as firmas dominantes espanholas ou explorar a sua situação de produtor dominante na região portuguesa.**

Relativamente ao primeiro tipo de comportamento, no quadro das hipóteses formuladas, foram demonstrados os seguintes resultados.

Em primeiro lugar, como terceiro produtor do MIBEL, com HC ou sem HC, a firma EDP terá sempre incentivos a comportar-se de forma mais competitiva que as principais congéneres espanholas. Em segundo lugar, quanto menos competitivas as empresas dominantes espanholas se comportam maior abertura existe para a penetração da firma dominante portuguesa em Espanha. Em terceiro lugar, que o impacto nas situações de equilíbrio estudadas das firmas EDP e HC adoptarem posições concertadas é relativamente diminuto do ponto de vista dos preços obtidos. Em quarto lugar, a capacidade de interligação existente no cenário base não viabiliza em muitas das situações analisadas explorar na máxima extensão a

penetração óptima em Espanha, sobretudo nas situações em que as firmas dominantes espanholas se comportem de forma menos competitiva.

Por seu lado, a análise desenvolvida ao segundo comportamento assinalou as seguintes conclusões.

Em geral, no cenário base de capacidade de interligação, o comportamento competitivo passivo revelou-se mais lucrativo que o comportamento em que a firma disputa o mercado ibérico, embora com a firma EDP a sacrificar quota de mercado. Este tipo de comportamento origina preços superiores na região portuguesa aos obtidos na região espanhola e, superiores, em quaisquer das regiões, aos que seriam obtidos no caso em que a firma EDP disputaria o mercado ibérico.

No cenário base de capacidade de interligação, no quadro das hipóteses formuladas, demonstrou-se que:

- são restritas as situações em que a capacidade de interligação disponível no cenário base permite um equilíbrio conjunto descongestionado – aquele em que a firma EDP disputa o mercado ibérico;
- a estratégia óptima para a firma dominante em Portugal é adoptar o comportamento competitivo passivo; a melhor resposta das firmas em Espanha ao comportamento passivo da firma dominante em Portugal é adoptar o comportamento competitivo agressivo, ou seja adquirir uma posição exportadora face ao respectivo mercado doméstico. Para todas as firmas, o comportamento competitivo passivo EDP versus o comportamento agressivo em Espanha constitui uma situação preferencial ao equilíbrio conjunto descongestionado. Temos assim que este equilíbrio satisfaz as condições de equilíbrio de Nash em estratégias puras.

A principal conclusão a reter é que os níveis de capacidade de interligação praticados em 2002, conjugados com a estrutura horizontal presente na região portuguesa, não são suficientes para produzir um equilíbrio conjunto descongestionado no contexto do MIBEL. Em Portugal, a firma dominante deverá ter incentivos em explorar essa posição. Os principais efeitos competitivos de capacidade de interligação limitada prendem-se com a obtenção de preços

mais altos na região portuguesa do MIBEL e de preços em Espanha mais altos dos que se obteriam isoladamente no OMEL, aqui entendido como o mercado espanhol em regime de autarcia.

Estudaram-se cenários alternativos para a capacidade de interligação, verificando a partir de que níveis o comportamento em equilíbrio atrás predito se modificaria. Em particular estudou-se o ponto a partir do qual a estratégia óptima da firma EDP seria disputar o mercado alargado com as firmas dominantes em Espanha. Como atrás se notou essa seria a estratégia que garantiria preços mais baixos traduzindo-se, concomitantemente, em níveis acrescidos de bem estar dos consumidores.

Da análise realizada verificou-se que os níveis requeridos de capacidade de interligação para suportar um equilíbrio conjunto sem congestionamento variam em função dos níveis de rivalidade competitiva protagonizados pelos agentes participantes no mercado, do nível de procura e da disponibilidade de meios de produção hídricos por parte da firma dominante em Portugal. Este último aspecto merece maior relevo, pois justifica a ocorrência de intervalos de capacidade de interligação em que o jogo estudado não produz equilíbrio de Nash em estratégias puras. Com efeito, a firma EDP, o produtor ibérico com maior proporção de capacidade de produção instalada em meios hidro-eléctricos, em períodos de menor disponibilidade deste tipo de produção vê o seu poder de mercado significativamente afectado. Neste tipo de situação verificam-se dois tipos de efeitos. Por um lado, o compromisso de quota de mercado e lucros de protagonizar uma estratégia competitiva passiva é maior. Por outro lado, em disputa do mercado ibérico regista uma maior propensão competitiva, tendendo a produzir mais para exportação. Nesta situação, assinala-se um intervalo alargado de capacidade de interligação em que o jogo estudado não produz equilíbrio de Nash em estratégias puras.

A análise de sensibilidade dos resultados a diferentes níveis de capacidade de interligação permitiu verificar que salvo no caso de concorrência perfeita, para um intervalo alargado de capacidade de interligação, a decisão de congestionar as linhas, independentemente do sentido de trânsito, pertence em grande medida à firma dominante em Portugal.

Os resultados obtidos na análise de sensibilidade salientam ainda os potenciais efeitos mitigadores de poder de mercado suscitados pelo incremento da capacidade de interligação entre os dois mercados. Salienta-se, contudo, que em alguns dos cenários estudados o incremento de capacidade de interligação, sozinho, não deverá ser suficiente para induzir comportamentos mais competitivos. Esta situação chama a atenção para a necessidade de implementar medidas complementares do ponto de vista da mitigação de poder de mercado na região portuguesa do MIBEL.

Os resultados aqui apurados fornecem uma antevisão do possível comportamento futuro do MIBEL. Em geral, a solução de um jogo a partir do instrumental da teoria de jogos fornece uma predição de qual o equilíbrio ou equilíbrios possíveis. A intuição da forma como esse equilíbrio é atingido é contudo de difícil determinação. Como refere Stoft (1998), *the argument in economics is that it is too difficult to predict the dynamics of learning, but that intelligent players will eventually find their way to the equilibrium, so that is predictable.*

Os elementos de um jogo em teoria de jogos definem um conjunto de jogadores, acções, *payoffs* e informação. Estes elementos são usualmente descritos como as regras do jogo. O conceito básico de common knowledge, que está presente à construção de um jogo, parte do pressuposto que os agentes participantes no jogo possuem uma crença comum quanto aos elementos que compõem o jogo, o que quer dizer um conhecimento sobre qual o comportamento possível dos seus competidores. Em jogos repetidos, a construção de uma crença comum tem associada um processo de aprendizagem.

Na realidade, em jogos repetidos, como o são os mercados eléctricos, é de supor à partida um período de aprendizagem. A forma como é usualmente ilustrado o equilíbrio de Cournot em jogos repetidos fornece um exemplo teórico da forma como os agentes se aproximam do equilíbrio. Em si, o arranque de um mercado eléctrico constitui uma novidade para os agentes que neste participam, em particular no modo de organização do despacho. Na realidade, processos de aprendizagem constituem elementos relativamente comuns nos mercados eléctricos. Por isso, antes que um determinado comportamento padrão seja observado é usual identificar previamente um processo de aprendizagem. Um exemplo deste tipo de processo é assinalado no estudo empírico promovido Borenstein et al, 2001 – Trading inefficiencies in California's electricity markets.



A exposição anterior serve apenas para concluir que os resultados aferidos no presente estudo devem ser relativizados e encarados à luz das hipóteses formuladas. Por um lado, o estudo parte de hipóteses relativamente simplificadoras do desenho de mercado; por exemplo, não encara os potenciais efeitos sobre o mercado diário a observar a partir da contratação bilateral física, da contratação de derivados ou do mecanismo de pagamento dos *stranded costs*, caso este dependa dos preços de mercado. Por outro lado, não encara no comportamento dos agentes participantes no mercado diário a potencial ameaça da intervenção punitiva das agências de regulação do mercado. Por último, pressupõe a existência de um processo de aprendizagem.

A principal conclusão a reter dos resultados apurados no presente estudo é que com os níveis de interligação existentes em 2002 existe espaço para ocorrência de comportamentos estratégicos em torno de congestionamentos no sistema eléctrico ibérico. Na prática, as situações em que o comportamento predito possa vir a verificar-se poderão ser muito restritas. Este tipo de comportamento será mesmo pouco provável nas horas nocturnas do sistema, quando os níveis de procura são mais baixos e os níveis de capacidade de interligação publicados pelos operadores de sistema mais elevados. Contudo, em si, este tipo de comportamento não deverá constituir novidade face à experiência observada no OMEL. Com efeito, existem indícios que este tipo de comportamento possa ter existido e motivado, inclusivamente, a instauração de inquéritos por parte da autoridade de concorrência espanhola. Ainda assim a experiência registada no OMEL parece demonstrar que a forma como são pagos os *stranded costs* possui um impacto sobre o desempenho competitivo do mercado potencialmente mais forte que o derivado da formação de congestionamentos.

Esta conclusão serve também para demonstrar que a experiência inicial do MIBEL deverá ser dominada por um processo de aprendizagem em torno das potenciais estratégias a adoptar face às restrições de capacidade de interligação. No contexto de arranque do MIBEL, o jogo estratégico – *gaming* – em torno da interligação deverá potencialmente adquirir um relevo importante no desempenho competitivo deste mercado. Em especial na actividade da firma dominante em Portugal. Neste período inicial, especial atenção deverá ser devotada pela agência reguladora do sector energético à monitorização das práticas competitivas da firma dominante na região portuguesa.

## 6. CONCLUSÕES

Ao longo da última década, o sector eléctrico, pelo mundo fora, conheceu significativas alterações no paradigma que sustentou o seu desenvolvimento e funcionamento durante praticamente todo o século XX. Os movimentos de liberalização da produção, com a criação de mercados grossistas e retalhistas de electricidade, surgem à cabeça como principal factor de mudança. Paralelamente assistimos à introdução do mercado de emissões de CO<sub>2</sub> e à importância atribuída às fontes renováveis na produção de energia eléctrica. Sustentabilidade ambiental, concorrência, eficiência de curto prazo e eficiência de longo prazo são preocupações presentes na actualidade, às quais os mecanismos de mercado deverão conferir resposta. Os desafios são múltiplos e simultâneos. Em teoria, os desafios do mercado são susceptíveis de produzir os efeitos desejáveis. A substituição de um enquadramento estável por um de maior incerteza, onde os graus de liberdade são multiplicados, pode contudo suscitar efeitos indesejados ao nível do investimento, sobretudo quando se justapõe os desafios de natureza ambiental. Neste novo contexto, prever cenários futuros para o sector eléctrico revela-se uma tarefa complexa.

O modo como é formatado um mercado eléctrico é ditado em grande medida pelos imperativos da física que regem o transporte de energia. Notavelmente, num mercado eléctrico, o transporte de energia – no fundo a tecnologia de transação – determina os contornos e procedimentos em que assenta o mercado. Garantir o equilíbrio permanente entre produção e consumo, a segurança e qualidade do abastecimento e a resolução de congestionamentos na rede de transporte são condições que um mercado eléctrico deve assegurar em permanência. Falhando o mercado falha também o sistema eléctrico, como algumas experiências dramáticas assim o demonstraram. Adaptar os princípios de funcionamento de um mercado a um sistema eléctrico não é por isso tarefa fácil.

Na prática não há uma única forma de desenhar mercados eléctricos mas, como a evidência empírica o demonstra, muitas. Temos, por um lado, a pool de energia, inspirada no modo tradicional de gestão de um sistema eléctrico. Esta mimetiza o funcionamento de mercado a partir de um método matemático de optimização do despacho face às ordens de venda e de compra formuladas pelos agentes participantes no mercado. Neste regime, o preço é uniforme

– todos os agentes que são despachados recebem o mesmo preço; o preço é interpretado como o preço sombra do programa de optimização. Por outro lado, temos a bolsa de energia, que resolve o mercado de forma mais próxima do conceito tradicional de bolsa de commodities. Neste caso impera o conceito de pay-as-bid, ou seja, o preço é específico a cada encontro entre oferta de compra e oferta de venda.

Os desenhos de mercado em questão confrontam-se quanto aos modos como fomentam competição, quanto à transparência da formação de preços e quanto à eficiência de curto prazo. O debate sobre qual o melhor desenho permanece em aberto. Em teoria, contudo, aproximam-se naquilo que fornecem como resultado de equilíbrio.

No capítulo específico da gestão de congestionamentos existem igualmente abordagens distintas. Estas abordagens combinam-se de forma variável com os modos de funcionamento de mercado, traduzindo-se na existência de múltiplos arranjos para tratar um mesmo problema – a gestão em tempo real do sistema eléctrico em regime de mercado. Um congestionamento na rede tem como significado que a energia mais barata não pode chegar a todos os pontos da rede de transporte. Simplificadamente este resolve-se substituindo produção barata distante por produção mais cara localizada na zona afectada – tem subjacente deste modo um custo de oportunidade. O método de resolução de congestionamento do ponto de vista físico é relativamente uniforme contudo o mecanismo de mercado subjacente não o é. Cada método adapta-se às características do sistema em que é praticado. Onde os congestionamentos são diminutos – tipicamente no seio de sistemas nacionais, os métodos são independentes do mecanismo base de mercado e assentam em compensações paralelas aos produtores – temos nestes caso o redespacho/countertrading. Onde os congestionamentos são mais significativos, como nos casos dos mercados internacionais e inter estaduais as distorções provocadas no desempenho de mercado por métodos independentes podem ser significativas. Por isso, empregam-se os leilões explícitos de capacidade de transporte ou leilões implícitos – em que um preço para a utilização da capacidade de transporte e um preço para energia são determinados de forma simbiótica, dependente do nó ou zona em que é injectada/extraída a potência – temos nestes casos os preços nodais ou o market splitting. Os diferentes métodos têm por isso consequências importantes quanto ao modo como os preços se formam. Implicitamente, a diferentes métodos associam-se importantes transferências de bem estar

entre agentes económicos: ora se trata de socializar os custos de congestionamento ora se trata de os alocar de forma diferenciada entre agentes, em função do seu papel na formação de congestionamentos.

A estrutura horizontal típica de um mercado eléctrico caracteriza-se no caso de oligopólio. Esta estrutura justifica-se na existência de economias de escala e de gama na produção ou deriva simplesmente da forma como foram resolvidos os monopólios anteriormente estabelecidos. A estrutura horizontal de mercado é em si mutável no tempo e no espaço – nesta constatação intervêm os congestionamentos, pelo seu efeito fragmentador dos mercados. Os congestionamentos têm como significado que o mercado não é uno e indivisível. No fundo, o congestionamento pode conferir poder de mercado regionalizado.

Na estrutura de mercado oligopolista com restrições de capacidade, a predição teórica infere preços acima dos custos marginais, conforme a experiência empírica o demonstra. A experiência dos mercados eléctricos, a par das questões de desenho de mercado, tem sido marcada pela identificação das melhores estratégias para mitigar poder de mercado.

O foco da presente tese foi a criação em 2004 do Mercado Ibérico de Electricidade. Este corresponde à integração numa mesma plataforma de mercado da gestão dos sistemas eléctricos de Portugal e Espanha. Em Portugal, assistir-se-á a um novo modelo de gestão do sistema, utilizando o preço como critério de atribuição do despacho e, simultaneamente, um novo método de gestão da interligação.

A selecção do modelo de gestão de congestionamentos – market splitting ou counter trading/redespacho – será de particular importância quanto ao modo como os preços serão determinados e quanto à definição do bem estar dos agentes económicos em cada região ibérica. Em função do método escolhido, face à respectiva alternativa, será possível assinalar transferências de bem estar entre agentes idênticos dos dois lados da fronteira. Do ponto de vista competitivo a selecção do método de gestão de congestionamentos produzirá efeitos de menor importância – as estratégias competitivas, na sua essência, deverão ser relativamente independentes do método escolhido para gerir a interligação. A experiência empírica de mercados eléctricos demonstra que, independentemente dos métodos de gestão de

congestionamento, as restrições de interligação geram usualmente condições regionalizadas de dominância.

A linha de investigação conduzida elencou o estudo de como as restrições de interligação existentes no momento de arranque do MIBEL poderão interferir no desempenho competitivo deste mercado. Os dados do problema salientam que a integração de mercados é possível apenas até aos limites de interligação. Por um lado, a capacidade de interligação representava pouco mais de 11% da procura máxima em Portugal e 2% da procura em Espanha. Por outro lado, as estruturas regionais de mercado assinalavam elevados índices de concentração: dominância por uma empresa em Portugal e um duopólio em Espanha.

Esta análise suportou-se num modelo de concorrência oligopolística de uma pool obrigatória, modelizando o comportamento das empresas com base na hipótese de variações conjecturais e tratando a gestão de congestionamentos na hipótese de market splitting. Ignorou-se nesta representação os efeitos competitivos da contratação a prazo e da contratação bilateral física, bem como o pagamento dos stranded costs, designados em Espanha por CTC – Custos de Transição para a Concorrência e em Portugal por CMEC – Custos de Manutenção do Equilíbrio contratual.

No modelo analisado a firma dominante portuguesa – EDP – confronta-se com duas estratégias possíveis: disputar, até ao limite de interligação, o mercado ibérico com as firmas dominantes espanholas ou, explorar a sua posição dominante no mercado doméstico português protegido de competidores externos pela limitada interligação.

Assumindo a capacidade de interligação disponível em 2002, os resultados apurados demonstraram que o comportamento óptimo para a firma dominante portuguesa será explorar a sua posição dominante no mercado português. Este comportamento traduz-se em a firma dominante portuguesa permitir a entrada das firmas externas no respectivo mercado doméstico até ao limite de capacidade de interligação e impondo preços mais altos em Portugal do que em Espanha.

A análise de cenários alternativos de capacidade de interligação demonstrou que para anular incentivos ao comportamento acima descrito a capacidade de interligação deverá aproximadamente duplicar face à situação verificada em 2002. Com níveis de capacidade de

interligação suficientemente elevados o comportamento óptimo da firma dominante portuguesa será disputar o mercado ibérico com as concorrentes espanholas. Desse comportamento obtêm-se preços mais baixos comparativamente à situação em que a firma dominante portuguesa explora a sua posição dominante no mercado português. Tal corresponde à situação de perfeita diluição das duas estruturas horizontais de mercado, com índices de concentração inferiores aos verificados em qualquer uma região ibérica entendida isoladamente.

Na prática múltiplos factores para além da interligação irão influenciar o desempenho futuro do MIBEL. Os mercados a prazo, sendo líquidos, poderão diminuir a propensão a comportamentos conducentes a preços mais elevados. A forma como se configure o pagamento dos *stranded costs* no regime transitório para a concorrência é igualmente susceptível de influenciar estes resultados, nomeadamente sendo este pagamento determinado em função dos preços de mercado. Paralelamente, a concretização do mercado de emissões, interferindo com a ordem de mérito dos equipamentos produtivos, e a integração crescente de Produção em Regime Especial, diminuindo a concentração do mercado, são factores igualmente susceptíveis de interferir com o desempenho de mercado, nomeadamente quanto à utilização da interligação.

A criação do MIBEL introduz um desafio importante ao sector eléctrico português no seu funcionamento de curto prazo e na sua dinâmica no longo prazo. Concretizar os benefícios da concorrência, garantir a sustentabilidade ambiental e simultaneamente proporcionar as condições de investimento em novos equipamentos no contexto de uma procura crescente são matérias de grande importância. O estudo realizado demonstra que a estrutura horizontal de mercado no MIBEL e as restrições de interligação, pelo menos nos primeiros anos, poderão configurar obstáculos à plena concretização dos benefícios de um mercado competitivo. Outros factores, entre os quais a intervenção da regulação pública, poderão contudo mitigar a importância das restrições de interligação no desempenho futuro do MIBEL.

## **BIBLIOGRAFIA**

### **Capítulo 2**

Bushnell, J., A mixed complementarity model of hydrothermal Electricity competition in the western united states, 2001

Castro, R., Energias Renováveis e Produção Descentralizada Condições técnicas e económicas da ligação de produção em regime especial, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, DEEC / Secção de Energia, Abril de 2002 (edição 2)

Clements, K., Optimal power flow applications in restructured power systems, Worcester Polytechnic institute, 2002

EC/DG TREN, Electricity Liberalisation Indicators In Europe, 2001

Eden et al, Energy Economics, Cambridge University Press, 1981

ERSE, Comparação internacional dos preços de energia eléctrica a 1 de Janeiro de 2002, Novembro 2002

Koeunyi , K. Han, Thorp, James S., Nodal-Price Dependent, Dual-Mode Transmission Line Protection Strategy, School of Electrical Engineering, Cornell University, 2000

Institute of Power Systems and Power Economics (IAEW) of Aachen University of Technology (RWTH Aachen), Analysis of Electricity Network Capacities and Identification of Congestion Final Report Aachen, December 2001, European Commission, Directorate-General Energy and Transport

Pérez-Arriaga, I., Montero, F., Odériz, F., Benchmark of Electricity Transmission Tariffs, Universidad Pontificia Comillas/ Instituto de Investigación Tecnológica, Directorate-General for Energy and Transport / European Commission , February 2002

Powell, S., Mary Starks, ENERGY SERVICES FOR THE WORLD'S POOR Key drivers of improved access— service through networks, Banco Mundial, 1999

Sucena Paiva, J., Introdução à produção descentralizada de energia eléctrica, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, DEEC/ Secção de Energia

Sucena Paiva, J., Fundamentos dos sistemas de energia eléctrica, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, DEEC/ Secção de Energia

VGB Powertech/Eurelectrict, Efficiency in Electricity Generation, 2003

### **Capítulo 3**

Bjorndal, M., Jornsten, K., Zonal Pricing in a Deregulated Electricity Market, The Energy Journal, vol. 22: 51-73, 2001

Chao, H.P., Peck, S., A Market Mechanism for Electric Power Transmission, J. Regul. Econ., 10(1), 1996, 25-59.

CEER, Principles on the management and allocation of available transfer capacity of interconnections, 2002

CEER, Position paper of the CEER on Congestion Management, 2002

ETSO, Co-ordinated use of Power Exchanges for Congestion Management Final Report, April 2001

Hogan, W., Contract Networks for Electric Power Transmission, Harvard University Journal of Regulatory Economics; 4:211-242, 1992

Hogan, W., A Competitive Electricity Market Model, 1993

Hogan, W., Coordination for competition: electricity market design principles, 2001

Hogan, W., Electricity market design: making markets work the structural reform of the Mexican electricity sector, 2001



Jornal Oficial da União Europeia nº L 176 de 15/07/2003, p. 0001 – 0010, Regulamento (CE) n.º 1228/2003 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 26 de Junho de 2003, relativo às condições de acesso à rede para o comércio transfronteiriço de electricidade,

Jornal Oficial da União Europeia, nº L 176 de 15/07/2003, p. 0037 – 0056, Directiva 2003/54/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 26 de Junho de 2003, que estabelece regras comuns para o mercado interno da electricidade e que revoga a Directiva 96/92/CE

Jornal Oficial da União Europeia, nº L 027 de 30/01/1997, p. 0020 – 0029, Directiva 96/92/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Dezembro de 1996 que estabelece regras comuns para o mercado interno da electricidade

Nord Pool ASA, The Nordic Electricity Clearing House ASA (NECH), Clearing Services Offered by NECH, 2002

Nord Pool Spot ASA, The Nordic Spot Market, The world's first international spot power exchange, 2002

Nord Pool ASA, The Nordic Power Market, Electricity Power Exchange across National Borders, 2002

PJM, Overview of PJM Market Design, 2001

Schweppe, F.C., Caramanis, M.C., Tabors, R.E., Bohn, R.E., Spot Pricing of Electricity, Kluwer, Norwell, MA, 1988.

Wilson, R., Report to the Competition Bureau of Industry Canada Efficiency Considerations in Designing Electricity Markets, 1998

Wolfram, C. D., Electricity Markets: Should the Rest of the World Adopt the UK Reforms? PWP-069, U. Calif. Energy Inst., Berkeley, CA, September 1999

## Capítulo 4

Baldick, R., Hogan, W., Capacity Constrained Supply Function Equilibrium Models of Electricity Markets: Stability, Nondecreasing constraints, and Function Space Iterations, PWP-89, U. Calif. Energy Inst., Berkeley, CA, December, 2001

Batten, D., Grozev, G., Moglia, M., Simulating our National Electricity Market: An Integrated Pathway to Triple-Bottom-Line Performance, CSIRO Manufacturing and Infrastructure Technology, 2002

Bunn, D., Day, C., Computational Modelling of Price-Formation in the Electricity Pool of England and Wales, May 2001

Borenstein, S., Bushnell, J., Knittel, C., Wolfram, C., Trading inefficiencies in California's electricity markets, POWER U. Calif. Energy Inst., Berkeley, CA, October, 2001

Borenstein, S., Bushnell, J., Stoft, S., The competitive effects of transmission capacity in a deregulated electricity industry, RAND Journal of Economics Vol. 31, No. 2, Summer 2000 pp. 294–325

Borenstein, S., Bushnell, J., Knittel, C., Market Power in Electricity Markets: Beyond Concentration Measures, POWER U. Calif. Energy Inst., Berkeley, CA, February 1999

Borenstein, S., Bushnell, J., “An Empirical Analysis of the Potential for Market Power in California's Electricity Industry,” J. Ind. Econ., 47(3), 1999, 285-323.

Borenstein, S., Bushnell, J., An Empirical Analysis of the Potential for Market Power in California's Electricity Industry, POWER, 1998

Borenstein, S., Bushnell, J., Electricity Restructuring: Deregulation or Reregulation? Institute of Business and Economic Research Competition Policy Center, (University of California, Berkeley), 2000 Paper CPC00\_014

Cabral, L.M.B., “Conjectural Variations as a Reduced Form,” Econ. Letters, 49(4), 1995, 397-402.

Cardell, J., Hitt, C.C., Hogan, W., "Market Power and Strategic Interaction in Electricity Networks," *Resource and Energy Econ.*, 19(1-2), 1997, 109-137.

Cunningham, L.B., Baldick, R., Baughman, M.L., "An Empirical Study of Applied Game Theory: Transmission Constrained Cournot Behavior," *IEEE Trans. Power Sys.*, 2001

Day, C., Hobbs, B., Pang, J., *Oligopolistic Competition in Power Networks: A Conjectured Supply Function Approach*, PWP-90, U. Calif. Energy Inst., Berkeley, CA, December, 2002

von der Fehr, Harbord, D., "Spot Market Competition in the UK Electricity Industry," *Econ. J.*, 103, 1993, 531-546.

von der Fehr, Harbord, D., *Competition in Electricity Spot Markets Economic Theory and International Experience*, 1998, Mimeo

Green, R., Newbery, D., "Competition in the British Electric Spot Market," *J. Pol. Econ.*, 100, 1992, 929-953.

Green, R., *Increasing competition in the british electricity spot market*, 1996 *Journal of Industrial Economics*, Vol. XLIV, No. 2

Green, R., "Electricity Transmission Pricing: How Much Does It Cost to Get It Wrong?", PWP-058, U. Calif. Energy Inst., Berkeley, CA, 1998.

Hobbs, B.F., Metzler, C., Pang, J.-S., "Calculating Equilibria in Imperfectly Competitive Power Markets: An MPEC Approach," *IEEE Trans. Power Sys.*, 15(2), 2000, 638-645.

Hobbs, B.F., "LCP Models of Nash-Cournot Competition in Bilateral and POOLCO-Based Power Markets," *IEEE Trans. Power Sys.*, 16(2), May 2001, 194-202.

Hogan, W., *A Market Power Model with Strategic interactions in Electricity Networks*, *The Energy Journal*, Vol. 18, No. 4 (1997)

Hogan, W., *Electricity Market Power Mitigation*, 2001

Johnsen, T., Verma, S., Wolfram, C.D., *Zonal pricing and demand-side bidding in the norwegian electricity market*, *POWER*, June 1999

Joskow, P., Tirole, J., Transmission rights and market power on Electric power networks, 2000

Joskow, P., Tirole, J., Market Power in Theory and Practice, 2000

Newbery, D., Pool Reform and Competition in Electricity, November 1997

Newbery, D., Mitigating market power in electricity networks, 2002

Newbery, D., The UK Experience: Privatization with Market Power, 1999

Nicolaisen, J., Petrov, V., Tesfatsion, L., Market Power and Efficiency in a Computational Electricity Market With Discriminatory Double-Auction Pricing, 2000

Patrick, R., RTP and demand-side bidding in restructured electricity markets, Rutgers University, 2001

Puller, S. L., Pricing and Firm Conduct in California's Deregulated Electricity Market, PWP-80, U. Calif. Energy Inst., Berkeley, CA, August 2002

Ramos, A., Ventosa, M., Rivier, M., "Modeling Competition in Electric Energy Markets by Equilibrium Constraints," *Util. Policy*, 7, 1998, 233-242.

Rivier, M., Ventosa, M., Ramos, A., Martinez-Corcoles, F., Toscano, A.C., "A Generation Operation Planning Model in Deregulated Electricity Markets Based on the Complementarity Problem," M.C. Ferris, O.L.

Stoft, S., Fewer Prices than Zones, POWER, U. Calif. Energy Inst., Berkeley, CA, 1998.

Smeers, Y., Wei, J.-Y., "Spatially Oligopolistic Model with Opportunity Cost Pricing for Transmission Capacity Reservations—A Variational Inequality Approach," CORE Disc. Paper 9717, Universite' Catholique de Louvain, Feb. 1997.

Wei, J.-Y, Smeers, Y., "Spatial Oligopolistic Electricity Models with Cournot Generators and Regulated Transmission Prices," *Oper. Res.*, 47(1), 1999, 102-112.

Wolak, F., Patrick, R., The Impact of Market Rules and Market Structure on the Price Determination Process in the England and Wales Electricity Market, POWER, 058, U. Calif. Energy Inst., Berkeley, CA, February 1997

Wolfram, C.D., "Strategic Bidding in a Multi-Unit Auction: An Empirical Analysis of Bids to Supply Electricity in England and Wales," Rand J. Econ., 29(4), 1998, 703-725.

## **Capítulo 5**

Barquín, J., On oligopolistic electricity market equilibria and contingent claims, Instituto de Investigación Tecnológica Universidad Pontificia Comillas, 2003

Domínguez, J., Pérez-Arriaga, I. J., Analysis of the influence of the interconnections capacity in the Spanish electricity wholesale market, Instituto de Investigación Tecnológica Universidad Pontificia Comillas, 2003

ERSE, CNE, Mercado Ibérico de Electricidade, Documento de Discussão, Dezembro 2001

ERSE, CNE, Breve comparação dos sistemas eléctricos de Espanha e Portugal, Fevereiro 2002

ERSE, CNE, Relatório de etapa sobre o mercado ibérico de electricidade, Pontos de convergência e questões em aberto, Fevereiro 2002

ERSE, CNE, Modelo de Organização do Mercado Ibérico de Electricidade, Março 2002

Franco, A., Lobato, E., Rouco, L., Ugedo, A., Fernández-Caro, J., de-Benito, J., Chofre, J., De-la-Hoz, J., Optimization of the Spanish Market Sequence by a Price-Taker Generating Firm, 2003

OMEL, Informe Mensual, Meses de Janeiro de 2002 a Dezembro de 2002

Parrilla, E., Ventosa, M., Estudio del Impacto de las Restricciones Técnicas sobre el Equilibrio de un Mercado Eléctrico Oligopolista, Instituto de Investigación Tecnológica Universidad Pontificia Comillas, 2003

Rede Eléctrica de Espanha, Boletim estadístico de Energia Eléctrica, Meses de Janeiro a Dezembro de 2002

Relatório e Contas: EDP 2002, Union Fenosa 2002, Endesa 2002, Iberdrola 2002, Hidrocantábrico 2002

REN, Síntese Técnica 2002

Ventosa, M., Trocolí, B., Ortiz, S., Modeling supply function equilibrium in electricity markets: an MCP approach, Instituto de Investigación Tecnológica Universidad Pontificia Comillas, 2003

## ANEXO 1

### *Formalização matemática de uma rede*

O funcionamento de uma rede eléctrica pode ser descrito por três relações principais: equilíbrio de potência, equações de fluxo de potência e limites de transporte (Léautier, 2000). Considere-se uma rede de transporte composta por  $N$  – nós e  $L$  – linhas, sendo os nós os pontos em que linhas se interconectam entre si. Em cada nó de rede,  $n=1, \dots, N$ , designe-se  $q_n^s$  pela a energia injectada no nó  $n$ ,  $q_n^d$  a energia consumida no nó  $n$  e  $q_n = q_n^s - q_n^d$  a diferença entre energia injectada e energia consumida no nó  $n$ .

Cada linha,  $l=1, \dots, L$ , possui uma admitância  $y$  (definida em termos leigos como a resistência ao fluxo de potência), uma capacidade máxima de transporte avaliada em  $K_l$  expressa em MW e uma resistência  $r$ . Defina-se por  $z_l$  o fluxo orientado de energia na linha  $l$ , expresso em MWh.

A representação matemática de uma rede é expressa matricialmente. A matriz  $\tilde{A}_{L \times N}$ , a matriz de incidências da rede, expressa a forma como linhas e nós estão conectados, representando em coluna os nós e em linha as linhas. O elemento  $a_{ij}$  da matriz  $A$  pode assumir três valores: 0, 1 e -1. Com  $a_{ij}=0$  temos que a linha  $i$  não passa pelo nó  $j$ . Com  $a_{ij}=1$  temos que a linha  $i$  passa pelo nó  $j$  e está orientada para esse nó. Com  $a_{ij}=-1$  temos que a linha  $i$  passa pelo nó  $j$  e está orientada na direcção contrária a esse nó. Esta matriz tem característica  $N-1$ , ou seja as colunas desta matriz são linearmente dependentes, somando 0. Nessa medida, a representação dessa matriz é normalmente expressa eliminando arbitrariamente um nó, a que se designa o nó de *swing*, sendo a dimensão dessa matriz de  $A_{L \times N-1}$ .

A matriz de admitâncias  $Y_{L \times L}$  é uma matriz diagonal que expressa as características de admitância das linhas que compõem a rede. O elemento  $y_{ij}$  da diagonal principal desta matriz designa a admitância da linha  $i$ . A matriz de resistências  $R_{L \times L}$  é uma matriz diagonal das resistências das linhas que compõem a rede. Por analogia o elemento  $r_{ij}$  desta matriz designa a resistência da linha  $i$ .

### ***Equilíbrio de potência***

O equilíbrio de potência define-se como a igualdade instantânea entre potência injectada e potência consumida mais perdas em transporte. Matematicamente esta relação expressa-se na seguinte equação:

$$\sum_{i=1}^N q_n^s = \sum_{i=1}^N q_n^d + \tilde{L}(z)$$

em que  $L(Z)$  designa as perdas associadas a um vector de fluxos de potência  $z \in R_l$ . Apenas  $N-1$  injeções de potência são independentes, derivado da matriz de incidências de rede ter apenas  $N-1$  colunas linearmente independentes. (Característica  $N-1$ )

### ***Equações de Fluxos de Potência***

O fluxo de potência numa linha é uma função não linear da diferença entre os ângulos de fase nas extremidades da linha. Usualmente, na modelação de sistemas eléctricos é utilizada uma aproximação linear dos fluxos de potência, designada como a aproximação em corrente contínua (Leautier, 1999). Nesta aproximação, os fluxos de potência numa determinada linha são proporcionais à admitância da linha ( $y$ ) e à diferença entre os ângulos de fase nas extremidades da linha, expressa pela variável  $\delta$ . A expressão matemática do fluxo de potência resulta assim em:

$$z = Y \cdot \delta$$

Demonstra-se (Schweppe et al, 1988) que os fluxos de potência podem ser expressos como uma função linear do valor potência líquida  $q_n$  injectada em cada nó. Como para definir o equilíbrio de potência existem apenas  $N-1$  injeções de potência independentes, podemos enunciar os fluxos de potência a partir do vector  $\underline{q} \in R^{N-1}$ .

$$z = H \cdot \underline{q}$$

em que  $H=Y.A(A^T.Y.A)^{-1}$  e pertence a  $R^L \times R^{N-1}$



Como resultado da expressão anterior, demonstra-se igualmente (Schweppe et al, 1988) que as perdas de transmissão podem ser expressas em função de  $\underline{q}$ :

$$\tilde{L}(z) = L(\underline{q}) = \underline{q}^T \cdot B \cdot \underline{q}$$

Em que  $B = (A^T \cdot \Omega \cdot A)^{-1} A^T \cdot \Omega \cdot R \cdot \Omega \cdot A (A^T \cdot \Omega \cdot A)^{-1}$  é uma matriz simétrica pertencente a  $R^{N-1} \times R^{N-1}$ , e  $R$  é a matriz de resistências. A equação de equilíbrio de potência pode então ser rescrita em função das perdas,

$$\sum_{i=1}^N q_n^s = \sum_{i=1}^N q_n^d + L(\underline{q})$$

Subjacente a esta formulação encontram-se as leis de Kirchhoff, que determinam que os fluxos de potência seguem o percurso que minimiza as perdas totais, ou seja, o percurso que apresenta menos resistência.

### *Limites de capacidades das linhas*

Num sistema eléctrico, para todas as linhas, os fluxos de potência têm que respeitar os limites operacionais de voltagem, expresso matematicamente:

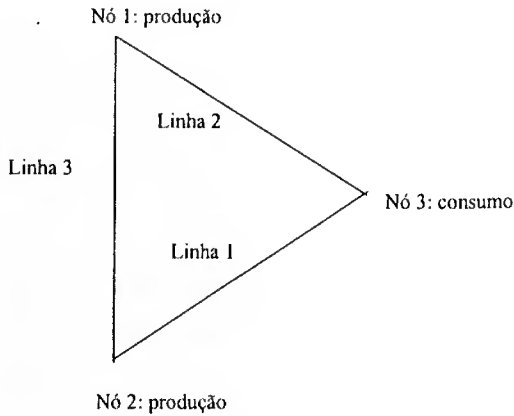
$$\forall l, |z_l| \leq K_l$$

ou, representando os fluxos de potência através da aproximação em corrente contínua em função da potência injectada em cada nó,

$$\forall l, |z_l| = \left| \sum_{i=1}^{N-1} H_{ln} \cdot q_n \right| \leq K_l$$

### Exemplo teórico de uma rede com três nós e três linhas de admitância idêntica

Exemplifica-se teoricamente uma rede com três linhas com admitância idêntica ( $y$ ) ligadas em três nós, ilustrado na figura seguinte. No nó 3 situa-se o consumo que tem que ser satisfeito através da produção do nó 1 ou nó 2 ou através dos dois em simultâneo.



A matriz  $\tilde{A}$ , como atrás referido define a forma como linhas e nós estão interconectados. O elemento  $\tilde{A}_{11}=0$  significa que a linha 1 não passa pela pelo nó 1. O elemento  $\tilde{A}_{13}=-1$  significa que a linha 1 passa pelo nó 3 e está orientada para esse nó. O elemento  $\tilde{A}_{12}=+1$  significa que a linha 1 passa pelo nó 2 e está orientada de forma oposta a esse nó. A matriz de admitância identifica na diagonal principal a admitância de cada linha. Neste exemplo, a admitância é idêntica para todas as linhas e avaliada em  $y$ .

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 0 & +1 & -1 \\ +1 & 0 & -1 \\ +1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad Y = y \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Na medida em que as linhas da matriz da  $\tilde{A}$  são linearmente depedentes, eliminando a coluna 3, que se passará a designar como o *swing bus*, obtém-se a representação reduzida da matriz de incidências de rede  $A$ .

$$A = \begin{bmatrix} 0 & +1 \\ +1 & 0 \\ +1 & -1 \end{bmatrix}$$

Através da aproximação em corrente contínua os fluxos de potência são definidos como um vector  $Z$ , determinados a partir do vector de produção e da matriz  $H=Y.A(A^T.Y.A)^{-1}$ , apresentada anteriormente. Como referido, os fluxos de potência podem ser expressos a partir da injeção de potência em  $N-1$  nós, na medida em que a injeção de potência no nó  $N$  é resultado da combinação linear da potência injectada nos outros nós, tendo em conta que a matriz  $\tilde{A}$  tem característica  $\rho=(n-1)$ .

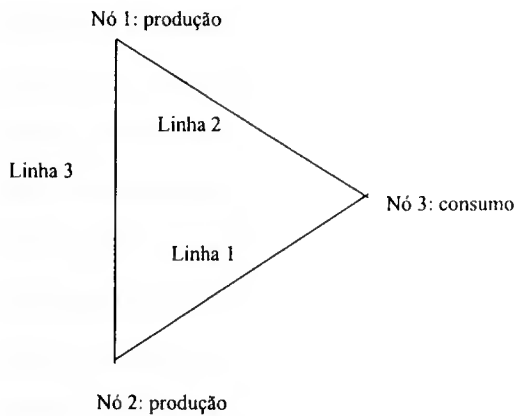
$$\begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} = H \cdot \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{bmatrix} \quad H = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} +1+2 \\ +2+1 \\ +1-1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} q_1 + q_2 \\ 2q_1 + q_2 \\ q_1 - q_2 \end{bmatrix}$$

A equação acima descrita descreve os fluxos de potência em função da potência injectada nos nós 1 e 2 (ignorando perdas). Aos termos descritos no membro esquerdo da equação é usual designar-se por *power distribubtion factors*.

### ***Exemplo de aplicação de um modelo de nodal prices***

Assuma-se que a unidade de produção instalada no nó 1 tem como custos marginais  $c_1(q_1)=10+10^{-3}q_1$  e a que unidade de produção no nó 2 tem como custos marginais de produção  $c_2(q_2)=30+2 \cdot 10^{-3}q_2$ , em que  $q_1$  e  $q_2$  são expressos em MWh. Como hipótese admite-se que não existem limites máximos de produção para nenhuma das unidades de produção e que ambas as centrais actuam como agentes competitivos, oferecendo a sua produção ao custo marginal.

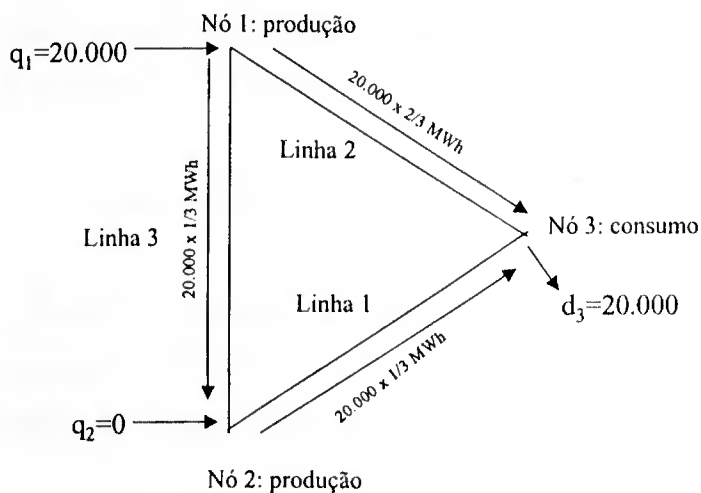


Assuma-se uma procura de 20.000 MWh, localizada no nó 3 e que não existem limites de capacidade de transporte. Conforme os custos marginais apresentados por ambas as unidades a solução que minimiza os custos totais será tal que apenas a unidade de produção no nó 1 produz, na medida que  $c_1(20.000) = 30 < c_2(1) = 30 + 2 \cdot 10^{-3} < c_2(20.000) = 70$ .

Os fluxos de potência, como visto anteriormente, são descritos pela seguinte função:

$$\begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} q_1 + q_2 \\ 2q_1 + q_2 \\ q_1 - q_2 \end{bmatrix}$$

Com uma produção de 20.000 MWh localizada no nó 1 os fluxos de potência resultantes em cada linha são descritos na figura seguinte, onde se assinala a ocorrência de um fluxo paralelo.



Embora a produção seja direccionada em termos contratuais do nó 1 para o nó 3, a geometria da rede e as características físicas das linhas determinam que a energia injectada no nó 1 se reparta pelas linhas 2 e 3, tomando o percurso descrito na figura. A forma como se reparte os fluxos de energia é determinada pelas Leis de Kirchhoff. Em redes malhadas, onde qualquer gerador ou consumidor encontra-se ligado a mais do que uma linha, ganha assim expressão o fenómeno de fluxo paralelo. Em redes malhadas a injeção de energia eléctrica num qualquer ponto da rede afecta toda a rede, mesmo em pontos distantes. Qualquer injeção na rede gera sempre fluxos paralelos, que poderão variar em função da configuração da rede e dos parâmetros que caracterizam linhas e transformadores. Sendo passivos a maioria dos componentes da rede, uma vez determinado o programa de produção e consumo o operador de sistema tem um controlo muito limitado sobre quantidade de potência que flui em cada linha.

Admita-se agora que a capacidade de transporte da linha 3 é definida em  $K_3=2.000$  MWh. Facilmente se depreende que a solução de mercado encontrada neste exemplo não é viável, na medida que  $z_3=6.667$  MWh  $>$  2.000 MWh. Nesta situação, satisfazer a procura unicamente a partir do produtor 1 não é viável. Para satisfazer o nível de consumo no nó 3, dado o limite de capacidade da linha 3, o produtor 2 terá que ser chamado a produzir. Depreende-se facilmente que o congestionamento representa um custo de oportunidade, na medida que a procura no nó 3 não pode ser integralmente satisfeita a partir do produtor mais barato. Parte da energia terá que ser assim fornecida a um custo acrescido.

A solução deste problema a partir de nodal prices é a seguir descrita. O problema de despacho óptimo a partir das funções de custo marginal, da procura a satisfazer, das equações de fluxo de potência e dos limites de capacidade de transporte é caracterizado na seguinte Lagrangeana:

$$L = -[C_1(q_1) + C_2(q_2)] + \mu_e(q_1 + q_2 - 20.000) - \eta\left(\frac{1}{3}(q_1 - q_2) - K_3\right) \quad (11)$$

O limite de capacidade de transporte da linha 3 é  $K_3=2000$  MWh e o fluxo de potência associado é determinado pelas equações anteriormente estudadas. Como para as restantes linhas não existem limites definidos, essas restrições são omitidas na Lagrangeana.

As condições KKT deste problema são então:

$$\frac{\partial L}{\partial q_1} = -c_1(q_1) + \mu_e - \frac{1}{3}\eta = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_2} = -c_2(q_2) + \mu_e + \frac{1}{3}\eta = 0 \quad (2)$$

$$\frac{1}{3}(q_1 - q_2) = 2.000 \quad (3)$$

$$q_1 + q_2 = 20.000 \quad (4)$$

De (1) e (2) temos que:

$$u_e = \frac{1}{2}(c_1(q_1) + c_2(q_2)) \quad (5)$$

$$\eta = \frac{3}{2}(c_2(q_2) - c_1(q_1)) \quad (6)$$

e, de (3) e (4) resulta que:

$$q_1 = 13.000 \text{ Mwh}$$

$$q_2 = 7.000 \text{ MWh}$$

A partir das funções de custos de cada produtor os custos marginais associados ao vector de produção calculado são então:  $c_1(13.000)=23$  u.m./MWh e  $c_2(7.000)=44$  u.m./MWh. O preço sombra da restrição de equilíbrio, ou preço de sistema é  $\mu^*=33.5$  u.m./MWh e o preço sombra da restrição de limite de capacidade de transporte é  $\eta^*=31.5$  u.m./MWh.

O *nodal price* no nó 3 (nó de swing) é então descrito pela equação (7) e a sua interpretação decorre da equação da (5): para satisfazer 1 MWh marginal de consumo no nó 3, o produtor 1 terá que produzir 0,5 MWh e o produtor 2 terá que produzir 0,5 MWh, na medida que a restrição da linha 3 é activa.

O preço no nó 2 será estabelecido no custo marginal de produzir 7.000 MWh por parte do produtor 2. Este preço, de acordo com a equação (8) iguala o preço de sistema mais contributo que o produtor 2 oferece para aliviar o congestionamento no sistema. Igualmente, o preço no nó 1 iguala o custo marginal de produzir 13.000 MWh, sendo igual ao preço de sistema menos o contributo que o produtor 1 oferece para congestionar o sistema. Um sistema de preços baseado em *nodal prices* penaliza os agentes que provocam congestionamentos e beneficia aqueles que contribuem para os resolver. O preço enfrentado por cada agente reflecte assim o sentido da externalidade por estes provocada no uso da rede.

$$\rho_3^* = \mu^* \quad (7)$$

$$\rho_2^* = \mu^* + \frac{1}{3}\eta^* = c_2(7.000) \quad (8)$$

$$\rho_1^* = \mu^* - \frac{1}{3}\eta^* = c_1(13.000) \quad (9)$$

De notar que avaliando a produção ao seu preço marginal no nó 3, os consumidores pagarão um total de 670.000 u.m. enquanto os produtores, receberão, de acordo, com os preços estabelecidos em cada nó um total de 607.000 u.m. A resolução do problema a partir de *nodal prices* gera um saldo de transacção positivo que reverte para o operador de sistema. Este saldo tem origem no facto do operador de sistema comprar energia nos nós mais baratos ao preço desses nós e exportá-la, para os nós mais caros, vendendo-a ao preço desses outros nós. Este saldo define a renda associada ao congestionamento, apropriada pelo operador de sistema.

## ANEXO 2

### Código GAMS

\$title concorrência oligopolística no MIBEL, Joao Lopes 2003

\*modelo de concorrência oligopolística do MIBEL. codificação das condições de KKT do sets

### Equilíbrio conjunto sem limites de capacidade de transporte

sets

f firms including all firms in all regions /EDP,Turbogas,Tejo,Hidro,Unionfenosa,Iberdrola,Endesa/

r regions /Reg1, Reg2/

i tecnologias /Hidro,Nuclear,Carvao,Gas,Fueloleo/

local(f,r) associates firms with regions

/(EDP,Turbogas,Tejo).Reg1,(Hidro,Unionfenosa,Iberdrola,Endesa).Reg2/

fe(f) so uma empresa /EDP/;

Alias (r,rr),(f,ff),(i,ii),(fe,fefe);

scalar sigma elasticity of demand for electricity /0.05/

NASH1 /1/

H /0.5/;

\* Taxes and transmission capacities:

parameter

ore resposta /-1/

pe preco quando a oferta e nula //

pe0(r) preco quando a procura e nula / Reg1, Reg2 /

de0(r) oferta quando o preco e nulo /Reg1,Reg2 /

pre(r) producao em regime especial /Reg1, Reg2 /

capaco(r) importacao exportacao /Reg1 0, Reg2 0/;

parameter c(i) variable operating cost /Hidro 1.5, Nuclear 1.8, Carvao 2.5, Gas 3,Fueloleo 3.5/;

table xlim(i,f,r) limites de producao para cada firma por tecnologia em KW

EDP.reg1 Turbogaz.Reg1 Tejo.reg1 Hidro.reg2 Unionfenosa.reg2 Iberdrola.reg2

Endesa.reg2

Hidro

Nuclear

Carvao

Gas

Fueloleo

positive variables

s(f,r) oferta total pela firma f na regioao r

st(r) oferta total das firmas fs na regioao r

x(i,f,r) oferta pela firma f na tecnologia i na regioao r

plimiteprod(i,f,r) preco sombra da restricao de producao na tecnologia i

u preco de sistema;

equations

oferta (f,r) condicao de oferta da firma f na regioao r

ofertatotal (r) oferta total na regioao r pelas firmas fs estabelecidas

lucro(i,f,r) condicao de equilibrio da firma f na tecnologia i na regioao r

limiteprod(i,f,r) custo marginal da firma f na regioao r na tecnologia i

dual equacao de precos nodais;

\* oferta total de f na regioao r

oferta(f,r)..

s(f,r)=e=sum(i,x(i,f,r));



```

* oferta total das firmas fs na regioao r
ofertatotal(r)..
st(r)=e=sum(f,s(f,r));
* condicao de equilibrio para a firma f na regioao r na tecnologia i
lucro(i,f,r)..
c(i)+plimiteprod(i,f,r)=g= pe-(pe/(sum(rr,de0(rr))))*((1+ore)*sum(rr,s(f,rr))+sum(rr,st(rr))+sum(rr,pre(rr)));
* limite de producao na tecnologia i fr
limiteprod(i,f,r)..
xlim(i,f,r)=g=x(i,f,r);
* cada firma assume que os precos satisfazem a condicao de precos nodais:
* as condicoes seguintes referem-se ao problema do operador de mercado
* condicoes preco nodais
dual..
u=g=pe-(pe/(sum(r,de0(r))))*(sum(r,st(r))+sum(r,pre(r)));
* preco transmissao
model MIBEL /lucro.x,limiteprod.plimiteprod,
oferta.s,ofertatotal.st,dual.u/;
st.l(r)=500;
option iterlim = 25000;
* Compute the competitive equilibrium:
solve MIBEL using mcp;
display u.l,x.l,st.l,s.l;
solve MIBEL using mcp;
parameter lc(f) lucro de cada firma;
lc(f)=(pe-(pe/(sum(r,de0(r))))*(sum(r,st.l(r))+sum(r,pre(r))))*sum(r,s.l(f,r))-sum((i,r),c(i)*x.l(i,f,r));
display lc;
parameter ofer(r) oferta em cada regioao;
ofer(r)=st.l(r)+pre(r);
display ofer;
parameter procura(r) procura em cada regioao;
procura(r)=de0(r)-(de0(r)/pe0(r))*u.l;
display procura;
parameter producao(f) producao de cada firma;
producao(f)=sum(r,s.l(f,r));
display producao;
parameter trnsito(r) trnsito de energia na interligacao;
trnsito(r)=procura(r)-ofer(r);
display trnsito;

ore=-0.98;
solve MIBEL using mcp;
parameter lc(f) lucro de cada firma;
lc(f)=(pe-(pe/(sum(r,de0(r))))*(sum(r,st.l(r))+sum(r,pre(r))))*sum(r,s.l(f,r))-sum((i,r),c(i)*x.l(i,f,r));
display lc;
parameter ofer(r) oferta em cada regioao;
ofer(r)=st.l(r)+pre(r);
display ofer;
parameter procura(r) procura em cada regioao;
procura(r)=de0(r)-(de0(r)/pe0(r))*u.l;
display procura;
parameter producao(f) producao de cada firma;
producao(f)=sum(r,s.l(f,r));
display producao;
parameter trnsito(r) trnsito de energia na interligacao;
trnsito(r)=procura(r)-ofer(r);
display trnsito;

```

```

ore=-0.97;
solve MIBEL using mcp;
parameter lc(f) lucro de cada firma;
lc(f)=(pe-(pe/(sum(r,de0(r))))*(sum(r,st.l(r))+sum(r,pre(r))))*sum(r,s.l(f,r))-sum((i,r),c(i)*x.l(i,f,r));
display lc;
parameter ofer(r) oferta em cada regioao;
ofer(r)=st.l(r)+pre(r);
display ofer;
parameter procura(r) procura em cada regioao;
procura(r)=de0(r)-(de0(r)/pe0(r))*u.l;
display procura;
parameter producao(f) producao de cada firma;
producao(f)=sum(r,s.l(f,r));
display producao;
parameter transito(r) transito de energia na interligacao;
transito(r)=procura(r)-ofer(r);
display transito;

```

```

ore=-0.96;
solve MIBEL using mcp;
parameter lc(f) lucro de cada firma;
lc(f)=(pe-(pe/(sum(r,de0(r))))*(sum(r,st.l(r))+sum(r,pre(r))))*sum(r,s.l(f,r))-sum((i,r),c(i)*x.l(i,f,r));
display lc;
parameter ofer(r) oferta em cada regioao;
ofer(r)=st.l(r)+pre(r);
display ofer;
parameter procura(r) procura em cada regioao;
procura(r)=de0(r)-(de0(r)/pe0(r))*u.l;
display procura;
parameter producao(f) producao de cada firma;
producao(f)=sum(r,s.l(f,r));
display producao;
parameter transito(r) transito de energia na interligacao;
transito(r)=procura(r)-ofer(r);
display transito;

```

## Equilíbrio com market splitting

```

sets
f firms including all firms in all regions /EDP,Turbogas,Tejo,Hidro,Unionfenosa,Iberdrola,Endesa/
r regions /Reg1, Reg2/
i tecnologias /Hidro,Nuclear,Carvao,Gas,Fueloleo/
local(f,r) associates firms with regions
/(EDP,Turbogas,Tejo).Reg1,(Hidro,Unionfenosa,Iberdrola,Endesa).Reg2/
fe(f) so uma empresa /EDP/;
Alias (r,rr),(f,ff),(i,ii),(fe,fefe);
scalar sigma elasticity of demand for electricity /0.05/
NASH1 /1/
H /0.5/;
* Taxes and transmission capacities:
parameter
ore(f) resposta / /
pe0(r) preco quando a procura e nula / Reg1, Reg2 /
de0(r) oferta quando o preco e nulo /Reg1,Reg2 /
pre(r) producao em regime especial /Reg1, Reg2 /

```

capaco(r) importacao exportacao /Reg1, Reg2 /;  
 parameter c(i) variable operating cost /Hidro 1.5, Nuclear 1.8, Carvao 2.5, Gas 3, Fueloleo 3.5/;  
 table xlim(i,f,r) limites de producao para cada firma por tecnologia em KW  
 EDP.reg1    Turbogas.Reg1    Tejo.reg1    Hidroc.reg2    Unionfenosa.reg2    Iberdrola.reg2  
 Endesa.reg2

Hidro  
 Nuclear  
 Carvao  
 Gas  
 Fueloleo

positive variables

s(f,r) oferta total pela firma f na regioao r  
 st(r) oferta total das firmas fs na regioao r  
 x(i,f,r) oferta pela firma f na tecnologia i na regioao r  
 plimiteprod(i,f,r) preco sombra da restricao de producao na tecnologia i  
 u(r) preco de sistema;

equations

oferta (f,r) condicao de oferta da firma f na regioao r  
 ofertatotal (r) oferta total na regioao r pelas firmas fs estabelecidas  
 lucro(i,f,r) condicao de equilibrio da firma f na tecnologia i na regioao r  
 limiteprod(i,f,r) custo marginal da firma f na regioao r na tecnologia i  
 dual(r) equacao de precos nodais;  
 \* oferta total de f na regioao r  
 oferta(f,r)..  
 s(f,r)=e=sum(i,x(i,f,r));  
 \* oferta total das firmas fs na regioao r  
 ofertatotal(r)..  
 st(r)=e=sum(f,s(f,r));  
 \* condicao de equilibrio para a firma f na regioao r na tecnologia i  
 lucro(i,f,r)..  
 c(i)+plimiteprod(i,f,r)=g= pe0(r)-(pe0(r)/(de0(r))\*((1+ore(f))\*s(f,r)+st(r)+pre(r)+capaco(r)));  
 \* limite de producao na tecnologia i  
 limiteprod(i,f,r)..  
 xlim(i,f,r)=g=x(i,f,r);  
 \* cada firma assume que os precos satisfazem a condicao de precos nodais:  
 \* as condicoes seguintes referem-se ao problema do operador de mercado  
 \* condicoes preco nodais  
 dual(r)..  
 u(r)=g=pe0(r)-(pe0(r)/de0(r))\*(st(r)+pre(r)+capaco(r));

model MIBEL /lucro.x,limiteprod.plimiteprod,  
 oferta.s,ofertatotal.st,dual.u/;  
 st.l(r)=500;  
 option iterlim = 25000;

\* Compute the competitive equilibrium:

solve MIBEL using mcp;  
 display x.l,st.l,s.l,u.l;  
 solve MIBEL using mcp;  
 parameter lc(f) lucro de cada firma;  
 lc(f)=sum(r,((pe0(r)-(pe0(r)/de0(r))\*(st.l(r)+pre(r)+capaco(r)))\*s.l(f,r))-sum((i,r),c(i)\*x.l(i,f,r)));  
 display lc;  
 parameter procura(r) procura em cada regioao;

```

procura(r)=st.l(r)+pre(r)+capaco(r);
display procura;
parameter producao(f) producao de cada firma;
producao(f)=sum(r,s.l(f,r));
display producao;

capaco("Reg1")=0;
capaco("Reg2")=0;
solve MIBEL using mcp;
display x.l,st.l,s.l;
solve MIBEL using mcp;
parameter lc(f) lucro de cada firma;
lc(f)=sum(r,((pe0(r)-(pe0(r)/de0(r))*(st.l(r)+pre(r)+capaco(r)))*s.l(f,r))-sum((i,r),c(i)*x.l(i,f,r)));
display lc;
parameter procura(r) procura em cada regioao;
procura(r)=st.l(r)+pre(r)+capaco(r);
display procura;
parameter producao(f) producao de cada firma;
producao(f)=sum(r,s.l(f,r));
display producao;

```